LÉGKÖR

71. ÉVFOLYAM 3. SZÁM



MI LESZ VELED, SZÉN-DIOXID?

HÓ- ÉS HŐMÉRSÉKLETI VISZONYOK ELEMZÉSE

A FELSZÍNHŐMÉRSÉKLET VÁLTOZÁSA MAGYARORSZÁGON

A LÉGKÖR NYOMÁSA

2026. JÚLIUS



Alkonyati sugarak. Az elnyúló árnyéksávok az Ausztria nyugati részén kialakult zivatarfelhőktől indulnak.
Tollár Eszter, FB Légköroptika, Kiskanizsa



Cirrocumulus cavum (lyukfelhő)
A túlhűlt vízcseppekből álló felhő egy áthaladó repülőgép miatt egy sávban jégkristályokká alakult.
Győre Nóra, FB Felhőnézők, Aba



Irizáló középmagas felhő
Kémeri-Füzesi Gitta, FB Felhők és égi csodák, Hajdúnánás

LÉGKÖR

71. évfolyam 3. szám
2026. július

A HUNGAROMET MAGYAR METEOROLÓGIAI SZOLGÁLTATÓ NONPROFIT ZRT. ÉS A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

Kiadja a
HUNGAROMET MAGYAR METEOROLÓGIAI SZOLGÁLTATÓ NONPROFIT ZRT.
1024 Budapest, Kitaibel Pál u. 1.

A kiadásért felel:
a HUNGAROMET NZRT. vezérigazgatója

Készült:
PREMIER Nyomda

Felelős vezető:
Hlinka Károly

ISSN 0133-3666

Készült 500 példányban

Éves előfizetési díja: 4515 Ft
A Magyar Meteorológiai Társaság tagjai számára ingyenes.
Megrendelhető a legkor@met.hu címen.

HungaroMet
Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.

Főszerkesztő: Fejes Edina

Főszerkesztő-helyettes: Tóth Róbert

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

ELNÖK:
Dr. Haszpra László

TAGOK:
Dr. Barcza Zoltán, Dr. Bartholy Judit,
Bíróné Dr. Kircsi Andrea, Dr. Bonta Imre,
Dr. Dobi Ildikó, Dr. Gál Tamás, Kolláth Kornél,
Dr. Lakatos Mónika, Dr. Leelőssy Ádám,
Péliné Dr. Németh Csilla, Dr. Sarkadi Noémi,
Dr. Somfalvi-Tóth Katalin, Dr. Szépszó Gabriella,
Dr. Szintai Balázs, T. Puskás Márta

Olvasószerkesztő: Fritz Petra

Tervezőszerkesztő, grafikus: Szabó Dorottya

TARTALOM

HASZPRA LÁSZLÓ: Mi lesz veled, szén-dioxid? 126
What's going to you, carbon dioxide?

ZAVECZKI-HOFFMANN LILLA, SIMON CSILLA, MEGYERI-KOROTAJ OTÍLIA: Hó- és hőmérsékleti viszonyok elemzése a 2026 január eleji havazás tükrében 136
Analysis of snow and temperature conditions in the light of the early January 2026 snowfall

BÁDER LÁSZLÓ, SZILÁGYI JÓZSEF, JÓZSA JÁNOS: A felszínhőmérséklet változása Magyarországon 1km-es MODIS adatok alapján 2001 és 2025 között 141
Land surface temperature changes in Hungary from 1km MODIS data between 2001 and 2025

HORVÁTH ÁKOS: A légkör nyomása – A meteorológusok D-napi háborúja az 1944. június 6-i partraszálláskor 152
The pressure of the air – The meteorologists' battle on D-Day Normandy landings, 6 June 1944

TÓTH RÓBERT, KISS MÁRTON, JÁKLI IMRE: Kiváló társadalmi észlelők világnapi kitüntetése 159

KÖNYVAJÁNLÓ 163

SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT: 2026 tavaszának időjárása 164

ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: A 2026-os tavasz időjárása agrometeorológiai szempontból 170

HÍREK 172

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI:
LAKATOS MÓNIKA ÉS ZAVECZKI-HOFFMANN LILLA: Beszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság 2026. április végi – július közötti időszakáról 175

SZERZŐKNEK SZÁNT ÚTMUTATÓ

A LÉGKÖR meteorológiai tárgyú, a légkörtudományhoz kapcsolódó tudományos és ismeretterjesztő írásokat, szakmai beszámolókat és rövid ismertetőket, híreket közöl magyar nyelven. A kéziratokat anonim szaklektorok véleménye alapján a szerkesztőbizottság fogadja el. A közlésre szánt írások elektronikus formában nyújthatók be a **legkor@met.hu** e-mail címen. A cikkekkel kapcsolatos formai elvárásokat a www.met.hu/ismeret-tar/kiadvanyok/legkor/ oldalon részletezzük.



Mi lesz veled, szén-dioxid?

Haszpra László
HUN-REN Atommagkutató Intézet, HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, haszpra.l@gmail.com

DOI:10.56474/legkor.2026.3.1

Az emberi tevékenység során a légkörbe bocsátott szén-dioxid meghatározó szerepet játszik az éghajlat alakításában. A potenciális környezeti, gazdasági és társadalmi kockázatok miatt napirenden van a kibocsátás mihamarabbi megszüntetése. A tanulmány áttekinti, hogy mi lesz a sorsa a már a levegőben lévő szén-dioxid mennyiségnek, felhívva a figyelmet néhány elterjedt félreértésre. A szén-dioxid több, erősen különböző időskálájú biogeokémiai folyamatban vesz részt, ezért rá egyértelmű légköri élettartam adat nem adható meg. Légköri kiürülése csak komplex Föld-rendszer modellekkel vizsgálható. Az emberi eredetű többlet kiürülési folyamata rendkívül lassú. A légkörbe juttatott többlet szén-dioxid 15–20%-a még 1000 év múlva is a levegőben lesz, kihatva az éghajlatra.

What's going to you, carbon dioxide?

Carbon dioxide emitted into the atmosphere as a result of human activity plays a decisive role in shaping the climate. Due to potential environmental, economic, and social risks, phasing out these emissions as soon as possible is a priority. This study reviews the fate of carbon dioxide already present in the atmosphere, highlighting some common misconceptions. Carbon dioxide participates in several biogeochemical processes with highly different timescales, so no definitive atmospheric lifetime can be specified for it. Its atmospheric depletion can only be studied using complex Earth system models. The removal process of the anthropogenic excess is extremely slow. Even 1,000 years from now, 15–20 % of the excess carbon dioxide released into the atmosphere will still be present in the air, affecting the climate.

A jégmezők zsugorodása, a tengerszint emelkedése, a vegetációs övek és a fenológiai fázisok eltolódása egyértelműen jelzi, hogy gyors ütemben változik bolygónk éghajlata. Az éghajlati rendszerben energiatöbblet jelent meg, amely emeli a hőmérsékletet és ezzel kiváltja az említett jelenségeket. A globális hőmérséklet-emelkedést és az éghajlat egyéb jellemzőinek vele járó változásait mérések is igazolják (*Blunden et al.,* 2025; *Morice et al*., 2025). Az éghajlatváltozás hátterében elsősorban a szén biogeokémiai körforgalmában az utóbbi két-három évszázadban bekövetkezett változás és a kiváltott visszacsatolások állnak (*Haszpra*, 2026).

A szén-dioxid és az éghajlat

Bolygónk éghajlatát a Napból érkező energia, a légkör összetétele és a földfelszín jellemzői együttesen alakítják. Néhány évezred időtartamon belül a Nap által kibocsátott energia és a Föld pályaelemei nem

változnak lényegesen. Nem változik a kontinensek elhelyezkedése és a domborzat sem, melyek az óceáni és a légköri áramlások befolyásolásán keresztül kihathatnának a földi energiaeloszlásra. A kontinensek és az óceánok elhelyezkedése mellett fontos még a felszínborítottság jellege is, amely megszabja, hogy a beérkező energiából mennyi verődik vissza, illetve nyelődik el. Az eltérő albedóval[1] rendelkező, hóval, jéggel, erdőkkel borított területek és sivatagok elhelyezkedése azonban természetes körülmények között éppen magától az éghajlattól függ. Elhelyezkedésük és kiterjedtségük rövidebb időtávon belül az éghajlat megváltozása nélkül nem változik, de egy éghajlatváltozásra reagál. Ezzel ráerősíthet a megindult éghajlatváltozásra vagy mérsékelheti az éghajlatváltozást kiváltó kényszert. Rövid időtávon belül az éghajlatot csak a légkör összetételének változása módosíthatja.

A Napból beérkező, ún. rövidhullámú sugárzás csaknem 30%-a a gázmolekulákról, aeroszol részecskékről, a felhőzetről és a felszínről visszaverődik (*Wild et al.*, 2015), éghajlati szempontból nem hasznosul. A légkörben lévő nyomanyagok mind a rövidhullámú, mind a felszínről és a légkörből származó hőmérsékleti sugárzás (hosszúhullámú sugárzás) átbocsátását befolyásolhatják. A rövidhullámú sugárzás közel negyedét a légkör elnyeli (*Wild et al.*, 2015). Az ultraibolya sugárzást az oxigén és az ózon még a légkör magasabb régióiban abszorbeálja, míg a spektrum infravörös részén a vízgőznek vannak jelentős elnyelési tartományai (*Seinfeld* and *Pandis*, 2016). A már csak kevés beérkező energiát hordozó, 1,9 μm feletti hullámhossz-tartományban a szén-dioxidnak is vannak elnyelési sávjai (*Romaniello et al*., 2021). A felszínről és a légkörből távozó hőmérsékleti kisugárzás útjában azonban számos molekula áll. Az általuk elnyelt, és e folyamat révén felmelegedő levegő részben a felszín felé irányuló hőmérsékleti sugárzása eredményezi a légkör ún. üvegházhatását (*Haszpra*, 2025).

A troposzférában koncentrálódó vízgőz elnyelési spektruma a felszín hőmérsékleti kisugárzásának hullámhossz-tartományát (4–100 μm) nagyrészt lefedi. Ebben a tartományban nyel el a szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid, az ózon és számtalan halogéntartalmú vegyület is. Közülük a szén-dioxid nemcsak mennyiségileg emelkedik ki, hanem azért is, mert egyik fő elnyelési sávja (13–18 μm) nem esik messze a felszín hőmérsékleti kisugárzásának maximumától (~10 μm), egyben belenyúlik abba a tartományba, melyben a vízgőz kevéssé nyel el (8–14 μm) (*Petty*, 2006). Ezért fontos szerepet játszik a Föld-légkör rendszer energiamérlegének alakításában.

[1] Albedó: a visszavert és az elnyelt sugárzás aránya.

Az aeroszol részecskék mind a rövidhullámú, mind a hosszúhullámú sugárzásátvitelben szerepet játszanak. Légköri tartózkodási idejük rövid, a sztratoszférában sem haladja meg a néhány évet (*Toohey et al*., 2025). Aktuális mennyiségük a felszíni kibocsátástól, illetve prekurzor anyagaik kibocsátásától függ. A kibocsátás tartós megváltozása nélkül, csak rövid idejű éghajlati kilengéseket okozhatnak, ahogy ezt a nagyobb vulkánkitörések esetében látjuk (*Parker et al*., 1996).

A víz troposzferikus tartózkodási ideje szintén rövid, 8–10 nap (*Gimeno et al*., 2021). Légköri mennyiségét a párolgási és kondenzációs folyamatok állítják be. Feltéve, hogy a kondenzációs magok mennyisége és jellemzői globális léptékben nem változnak, a víz légköri mennyiségét maga az éghajlat szabja meg. Bár döntő szerepe van a felszín-légkör rendszer energiaháztartásában, passzív éghajlatszabályzó, amely önmagában nem tud éghajlatváltozást elindítani. Ugyanakkor erős pozitív visszacsatolásként ráerősít a bármilyen okból meginduló éghajlatváltozásra (*Haszpra*, 2025).

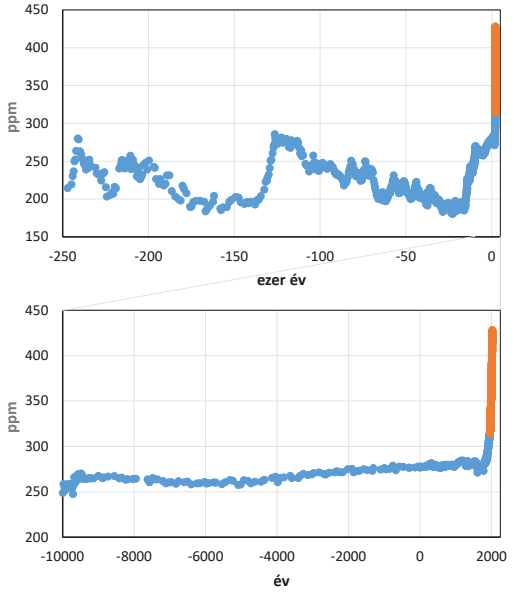
Bár a szén-dioxid molekulaszerkezete miatt nem tartozik a leghatékonyabb sugárzáselnyelők közé, mennyiségével súlyozva mégis – a vízgőz mellett – messze a legfontosabb éghajlati tényezővé lép elő (*Schmidt et al*., 2010). Mivel a légkör üvegházhatásában legmeghatározóbb vízgőz csak passzív szerepet játszik az éghajlat szabályozásában, a Föld légkörének földtörténetileg modern kori összetétele mellett évszázados-évezredes időskálán a szén-dioxid vezérli a bolygó éghajlatát (*Lacis et al*., 2010).

A légköri szén-dioxid koncentráció alakulása

A földtörténet kozmikus értelemben nyugalmasabb időszakának beköszönte táján, mintegy 3,5 milliárd évvel ezelőtt, a légkör szén-dioxid koncentrációja vélhetően több százszorosa volt a mai szintnek (*Catling* and *Zahnle*, 2020). A biogeokémiai és tektonikai folyamatok következtében ez a koncentráció – széles sávban ingadozva – a pliocén idejére (5,3-2,6 millió évvel ezelőtt) az intenzív iparosodás kezdete (i.u. ~1750) körüli szintre süllyedt (*Martinez-Boti et al*., 2015). A Föld hőmérséklete a kontinensek átrendeződése, az óceáni áramlások megváltozása, az üvegházhatás gyengülése és egyéb folyamatok következtében olyan tartományba hűlt, amelyben a bolygó pályaelemeinek változásai (Milanković-ciklusok) az albedó- és más visszacsatolás révén a korszak végétől már kiterjedt eljegesedéseket válthattak ki. Az éghajlat és a légkör

összetétele közötti szoros kapcsolat miatt a periodikus lehűlések a légkör szén-dioxid koncentrációján is nyomot hagytak (*Haszpra*, 2026).

A legutolsó jégkorszak lezárultától, a holocénnek az ipari forradalom kezdetéig tartó időszakában (i.e. 9700 – i.u. 1750) a szén biogeokémiai körforgalma a korábbi földtörténeti időszakokhoz képest rendkívül stabil, kiegyensúlyozott volt. Mind az óceánok és a légkör, mind a bioszféra és a légkör közötti nettó anyagforgalom (óceánok: beoldódás-kigázosodás; bioszféra: fotoszintézis-respiráció) közelítőleg nulla volt. Ennek következtében a szén-dioxid légköri koncentrációja is alig ingadozott, a bő 11 ezer év alatt is csak 13 ppm-et[2] emelkedett (*1. ábra*). A légköri szénmennyiség növekedése, a légköri szénmérleg kiegyensúlyozatlansága egyetlen részidőszakban sem haladta meg a 0,1 Gt/év-et[3] (*Bereiter et al.*, 2015). Mindezt ahhoz kell viszonyítanunk, hogy a légkör és a többi szféra közötti éves bruttó szénforgalom 165 Gt/év körül lehetett (*Canadell et al*., 2021).



1. ábra. A légkör szén-dioxid koncentrációjának alakulása az elmúlt 250 ezer évben, két eljegesedési (glaciális) időszakon keresztül (felső panel) és kinagyítva a holocén idején napjainkig (alsó panel). Jégfuratokból származó adatok (kék): https://www.ncei.noaa.gov/access/paleo-search/study/17975 (Bereiter et al., 2015); légköri mérési adatok (narancs): https://scripps.co2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/mlo.html (Keeling et al., 2001).

[2] 1 ppm = 1 milliomod térfogatrész

[3] Egy ppm-nyi térfogatarány-változás 2,124 gigatonnányi (Gt) légköri széntömeg-változással egyenértékű (Ballantyne et al., 2012)

Hogy a holocén közepétől a koncentráció lassú emelkedésében volt-e szerepe a megjelenő állattenyésztésnek, mezőgazdaságnak, az ezzel összefüggő erdőirtásoknak, illetve az építkezési és tüzelőfa kitermelésnek, azt nem tudjuk. Nem zárható ki, de a természetes folyamatok és ingadozásaik nagyságrendje mellett nem is támasztható alá (*Joos et al.*, 2004; *Ruddiman et al.,* 2016). A iparosodás 18. századi kibontakozásával gyors ütemben növekedni kezdő szén-dioxid kibocsátás hatása a légköri koncentrációra azonban már egyértelmű. A globális átlagkoncentráció, folyamatos növekedés mellett, 2025-re elérte a 426 ppm-et, az utóbbi 10 év átlagos növekedési üteme pedig 2,6 ppm/év volt (*Friedlingstein et al*., 2026). Napjainkban (2015-2024) évente átlagosan 5,6 Gt-val gyarapszik a légkör széntartalma, ami azt jelenti, hogy a légköri anyagmérleg kiegyensúlyozatlansága az elmúlt ~300 évben a korábbi időszakhoz képest nagyságrendekkel megnőtt.

A jövőre vonatkozóan fontos kérdés, nemcsak tudományos, hanem politikai és gazdasági szempontból is, hogy az a nagymennyiségű szén, amit az elmúlt 200–300 évben nagyrészt szén-dioxid formájában óvatlanul a légkörbe bocsátottunk és amit az elkövetkező években még minden bizonnyal kibocsátunk, mennyi idő alatt távozik onnan? Ezzel összefüggésben pedig milyen időtávon milyen éghajlati viszonyokra kell felkészülnünk?

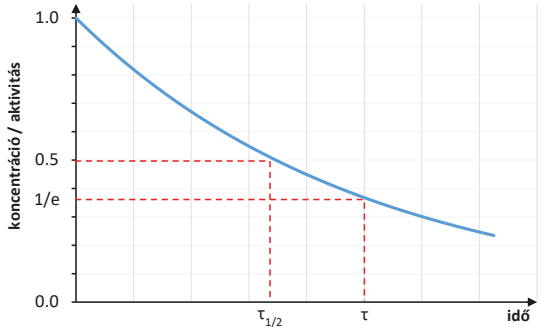
Tartózkodási idő, kicserélődési idő, élettartam, válaszidő, beállási idő

Ha egy nyomanyag légköri mennyisége állandó vagy legalábbis közel állandó (kvázistacionárius eset), akkor a légkörbe időegység alatt bekerülő és kikerülő anyagmennyiség (anyagáram, fluxus) szükségképpen (közel) egyenlő. A nyomanyag légköri tömegéből és az anyagáramból, a kettő hányadosaként meghatározható, hogy a nyomanyag egy-egy molekulája átlagosan mennyi időt tölt a levegőben, mielőtt kikerülne, és a helyére egy másik szférából egy hasonló molekula belépne. Ezt az időt tartózkodási időnek (*residence time*) vagy kicserélődési időnek (*turnover time*) nevezik.

Azoknál az anyagoknál, amelyek elbomlanak, megadhatjuk a felezési időt (*half-life*) vagy az élettartamot (*lifetime*). Előbbi elsősorban a radioaktív bomlás jellemzésére használatos, és azt az időt adja meg, mely alatt az adott radioaktív anyag fele elbomlik. Az élettartammal általában a kémiailag bomló anyagokat jellemezzük, és azt az időtartamot jelenti, amely alatt a kezdeti anyagmennyiség e-ad részére, azaz körülbelül 36,8%-ára csökken. Kémiai bomlásnál az élettartamot

a környezeti feltételektől függő bomlási sebesség szabja meg, ezért ugyanarra az anyagra eltérő környezeti feltételek mellett más és más élettartamot kapunk, míg a radioaktív bomlás sebessége anyagi jellemző.

Egy radioaktív izotóp vagy egy molekula adott időn belül adott valószínűséggel bomlik el, azaz az időegység alatti koncentráció-változás arányos az anyagmennyiséggel. Az anyagmennyiség időbeli alakulását a következő exponenciális függvénnyel adhatjuk meg: $[A]_t = [A]_0 e^{-kt}$ (*Haszpra*, 2024a), ahol szögletes zárójellel jelöltük az *A* anyag mennyiségét, a *k* pedig az adott folyamatra jellemző bomlási sebesség (sebességi együttható). *k* az időegység alatti bomlások számát adja meg. $1/k = \tau$ az az időtartam, az *A* anyag élettartama, amely alatt a kiindulási anyagmennyiség *e*-ad részére csökken (*2. ábra*). A folyamat időfüggéséből következik, hogy ha az anyagmennyiség τ idő alatt *e*-ad részére csökken, akkor a következő τ időtartam alatt a maradvány is *e*-ad részére csökken. Mivel az élettartam fogalmat tágabb értelemben is használják, a kémiai folyamatok által meghatározott élettartamot gyakran kémiai élettartamként említik.



2. ábra. Egyszerű bomlási függvény, ahol $\tau_{1/2}$ jelöli a felezési időt, míg τ az élettartamot.

Az üvegházhatású gázok többsége fotodisszociációval bomlik el, ezért élettartamuk a fenti módon számolható. Kvázistacionárius koncentráció esetén kémiai élettartamuk megegyezik légköri tartózkodási idejükkel. Azoknak a nyomanyagoknak az esetében (pl. metán), melyek más nyomanyagokkal elreagálva kerülnek ki a légkörből a tartózkodási idő és az élettartam már nemcsak fogalmilag, hanem számértékben is eltérhet egymástól, hiszen a fogyási sebesség a reagens anyag koncentrációjától is függ.

Sajnálatos módon az éghajlat módosulásában kulcsszerepet játszó antropogén eredetű többlet szén-dioxid kiürülési ütemét nem tudjuk ilyen egyszerűen megközelíteni. A szén-dioxid légköri kémiai reakciókban nem vesz részt. A szén és az oxigén atomok közötti erős kötés miatt csak a légkör külső határán, a mezoszféra felső tartományában, illetve a termoszférában bomlik el az extrém (<170 nm) ultraibolya sugárzás hatására (*Clark*, 1971). Légkörből való távozásában az aktuális környezeti viszonyoktól erősen függő biokémiai (élő szervezetek fotoszintézise), fizikai-kémiai (óceáni beoldódás) és geokémiai (kőzetek kémiai mállása) folyamatok vesznek részt, de hosszabb időtávon a tektonikai folyamatok (kéreglemezek mozgása) is lényegesek. Az élő szervezetek, az óceánok és a geokémiai folyamatok egyben forrásai is a légköri szén-dioxidnak (respiráció, szerves anyagok bomlása, kigázosodás, üledékes kőzetek mállása, vulkanizmus). Emellett rövidebb, közepes és hosszabb időskálán más és más folyamatok játszanak meghatározó szerepet. A földkéregből felszabadított szén belátható időn belül nem kerül vissza eredeti helyére, hanem a biogeokémiai folyamatok által meghatározott arányban eloszlik a légkör, a bioszféra és az óceánok között, hosszabb távon bevonva a kőzeteket is. Ebben az esetben azt tudjuk megvizsgálni, hogy egy adott perturbáció (pl. légköri szén-dioxid bevitel) után mennyi idő alatt alakul ki az új kváziegyensúlyi helyzet[4]. Ezt az időtartamot válaszidőnek (*response time*) vagy beállási időnek (*adjustment time*) nevezzük. Ezek a fogalmak az éghajlattudomány számos területén használatosak (pl. új kváziegyensúlyi hőmérséklet beállása adott energetikai perturbáció után), esetenként némileg eltérő definícióval.

A 900 gigatonnás légköri teljes széntömegből és a különböző forrásokból a légkörbe irányuló körülbelül 220 Gt/év-es bruttó szénfluxusból (*Haszpra*, 2026) kiszámolható, hogy egy-egy szén-dioxid molekula jelenleg átlagosan ~4 évet tölt a levegőben mielőtt kikerülne és helyére egy másik szén-dioxid molekula érkezne valamelyik másik szférából[5]. A négy éves légköri tartózkodási idő (*residence time*) elegendően hosszú idő ahhoz, hogy a Föld bármely pontján kibocsátott szén-dioxid molekula a bolygó bármely másik pontjára eljuthasson, a kibocsátás a teljes légkörben elkeveredhessen. Ez megindokolja, miért mérünk csak minimálisan különböző koncentrációkat a különböző földrajzi pontokban lévő mérőállomásokon. Magyarországon, egy erősen iparosított, sűrűn lakott kontinensen az alsó troposzférában a szén-dioxid koncentráció átlagosan csak körülbelül 1%-kal magasabb, mint a Csendes-óceán közepén

[4] A légkörbe belépő és az onnan kilépő anyagmennyiség közelítőleg azonos.

[5] Szigorú értelemben átlagos kicserélődési időt csak akkor lehetne számítani, ha a légköri tömeg állandó lenne, azaz időegység alatt ugyanakkora anyagmennyiség lépne be, mint ki. Jelenleg azonban a légkörbe időegységenként több szén-dioxid kerül be, mint amennyi ki, ezért a számított érték csak egyfajta közelítésnek tekinthető.

(*Haszpra*, 2024b). Bár a tartózkodási idő csupán egy-egy szén-dioxid molekula átlagos lecserélődési ideje, semmi köze a légkörből való végleges kiürüléshez, klímaváltozás-szkeptikus körökben gyakran hivatkozzák úgy, mint ami a szén-dioxid gyors kiürülését bizonyítja, azaz a többlet szén-dioxidnak hosszabb távú hatása nem lehet. Ennek laikusokat talán még könnyebben megtévesztő változata, amikor a légköri nukleáris robbantások során keletkezett radioaktív szénizotópot tartalmazó szén-dioxid ($^{14}CO_2$) mért gyors kiürülésére hivatkoznak. A szén radioaktív izotópja (^{14}C) lényegesen ritkább, mint stabil izotópjai (^{13}C és ^{12}C), ezért az anyagcsere során a légkörből kilépő $^{14}CO_2$ helyére nagy valószínűséggel (~99%) $^{12}CO_2$, kisebb valószínűséggel (~1%) pedig $^{13}CO_2$ molekula kerül. Látszólag tehát tényleg eltűnik a szén-dioxid a légkörből, miközben valójában csak egy másik, ugyanolyan környezeti hatású izotopológjára cserélődik. Természetbeni arányának ($\sim 10^{-9}$) megfelelő valószínűséggel a $^{14}CO_2$ is visszatérhet a légkörbe a bioszférából vagy az óceánokból.

A légköri tömeg és a felszín-légkör anyagáram hányadosaként meghatározott tartózkodási idő (*residence time*) vagy kicserélődési idő (*turnover time*) nem mond semmit arról, hogy mennyi idő alatt csökkenne a légkör szén-dioxid tartalma akár egyetlen molekulával is. Erről a bruttó anyagforgalomnál lényegesen kisebb, jelenleg (2015-2024. átlag) 5,6 Gt/év-es nettó anyagforgalom (3,2 Gt/év a bioszféra felé, 2,4 Gt/év az óceánok felé — *Friedlingstein et al*., 2026) sem tud információt adni, mivel ez az érték csupán egy pillanatnyi érték, ami folyamatosan változik. Függ magától a mindenkori légköri koncentrációtól és a széles értelemben vett környezeti feltételek alakulásától.

Hány év? Mi hány év?

Egyszerű kémiai elreagálás hiányában az antropogén eredetű többlet szén-dioxid kiürülési ütemére csak az összes közreható folyamat modellezésével tudunk, a modellek bizonytalanságával összhangban lévő becslést adni.

Watson és munkatársai az 1980-as évek végén a korabeli egyszerű óceán-modellek segítségével[6] 50-200 éves „élettartamot" (*lifetime*) becsültek (*Watson et al.*, 1990). Tanulmányukban korrektül leírják, hogy a légkörhöz adott szén-dioxid impulzus utáni új (kvázi) egyensúly elérési idejét (*adjustment time*) vizsgálták. Megállapították, hogy az adott feltételek mellett a többlet szén-dioxid fele 50 év alatt eltűnik a légkörből, de az újabb feleződésre már 250 évet kell várni, a kvázi-egyensúly beálltához pedig, ami után már csak nagyon csekély változások történnek, évszázadok kellhetnek. Az viszont nem derül ki, hogy tanulmányuk összefoglalójában végül miért 50-200 évet említenek (*„The time taken for atmospheric CO_2 to adjust to changes in sources or sinks is of the order of 50-200 years,..."*), ami az IPCC 1. Értékelő Jelentésének (*IPCC*, 1990) Döntéshozói összefoglalójába végül 50-200 év élettartamként (*lifetime*) jelent meg.

Az 50-200 év élettartam (*lifetime*, valójában nagyvonalúan becsült beállási idő [*adjustment time*]!), amit gyakran végképp hibásan tartózkodási időnek (*residence time*) említettek, a kezdetektől szakmai kritika alatt állt (pl. *Tans*, 1997), hiszen a több, különböző időskálájú folyamat egyidejű jelenléte miatt nem áll fenn az élettartam definíciójából következő, azonos idő alatti azonos arányú változás. Az azonos arányú változásokhoz (pl. feleződéshez, e-ad részre csökkenéshez) egyre hosszabb időtartamok tartoznak. Az 50-200 éves „élettartam" (rosszabb esetben: „tartózkodási idő") azonban a szakirodalomból sem könnyen, az ismeretterjesztő irodalomból, tankönyvekből pedig végképp nehezen tűnt el. Bár az 1990-es években már nagy számban jelentek meg a többlet szén-dioxid évezredekre nyúló hatásaival foglalkozó tanulmányok (terjedelmes áttekintést ad erről *Archer et al*., 2009), az IPCC 2001-ben megjelent 3. Értékelő Jelentésének (*IPCC*, 2001) Technikai összefoglalójában még mindig ez az adat szerepelt. Éghajlatpolitikai szempontból talán előnyös volt ez az időtartomány, mivel jól szimbolizálta azt, hogy döntéseink hosszú távra (akár 200 év!) meghatározzák bolygónk jövőjét, de ha megfelelő lépéseket teszünk, akkor emberileg belátható időn belül (<200 év!) javíthatunk a helyzeten. Félő, hogy a legtöbb, a tématerületen laikus az 50-200 éves időtartamot az antropogén eredetű szén-dioxid légkörből való teljes távozásaként értelmezte, holott erről szó sincs.

2009-ben Archer és munkatársai (*Archer et al*., 2009) kilenc olyan modell eredményeit hasonlították össze, melyek magukban foglalták a bioszféra, az óceán és az üledékképződés hosszú időskálájú folyamatait, az egyes szférák közötti, valamint az éghajlat és a globális biogeokémiai szénforgalom közötti visszacsatolásokat, és számítástechnikailag alkalmasak voltak 10.000 modelléves futtatásra. A modellekkel pillanatszerű szén-dioxid bevitel lecsengését vizsgálták (beállási idő/adjustment time) különböző anyagmennyiségek mellett. Az emberi tevékenység eddig mintegy 740–750 Gt szenet juttatott a légkörbe szén-dioxid

[6] Ekkor még nem volt ismert, hogy a bioszféra is nettó szén-dioxid nyelő. Csupán hipotézis volt, hogy a globális légköri szénmérleg hiányzó nyelője, a korabeli szakirodalomban „missing sink"-ként emlegetett nyelő, talán a bioszféra.

formájában a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével, a cementgyártással és a földhasználat-változtatással (*Friedlingstein et al*., 2026). A modelleket 1000 gigatonnás szén-impulzussal indították[7]. A bioszféra hamar beálló kváziegyensúlyi állapota után az óceánok továbbra is szén-dioxidot vonnak ki a légkörből, csökkentve a légköri koncentrációt. A kezdeti gyors koncentráció-csökkenés után az óceánok átlagosan ~280 év (120–430 év) után érték el kváziegyensúlyi állapotukat. Ekkor az eredeti szén-dioxid bevitel 18–27%-a még a légkörben volt. A csökkenő légköri koncentráció azt eredményezi, hogy a bioszféra egyre kevesebb szenet tud fotoszintézissel felvenni, miközben a respirációs folyamatok lényegében nem változnak. Mindez távlatilag a bioszféra lassú szénvesztéséhez, azaz gyenge forrássá válásához vezet, ami fékezi a szén-dioxid kiürülését.

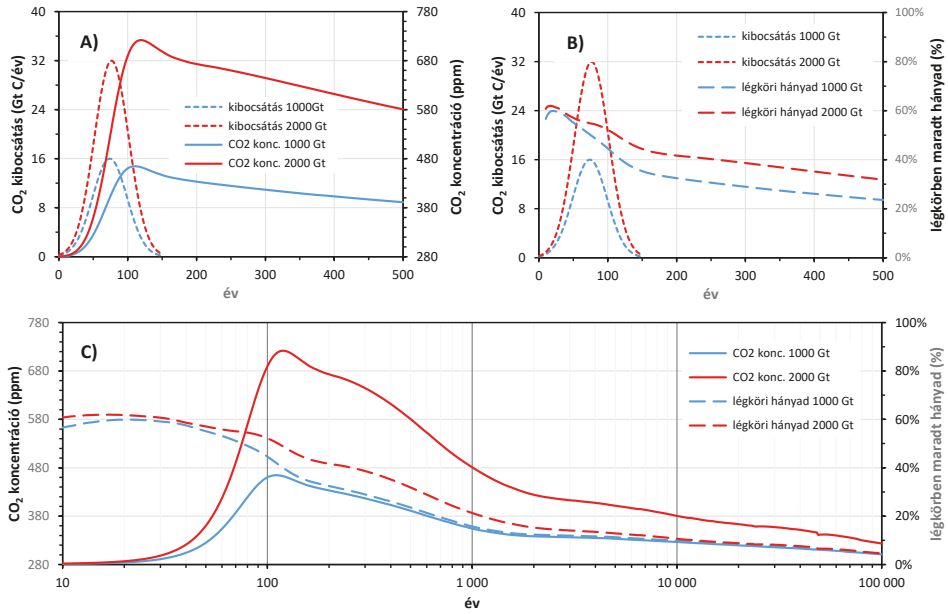
Az óceánok kváziegyensúlyi állapotának beállta után a légkör-bioszféra-óceán rendszerben lévő szénmennyiség már csak nagyon lassan, az üledékképződési folyamat és a magmás kőzetek kémiai mállása révén csökken. A modellezett idő végén, 10.000 évvel a légköri szén-dioxid impulzus után, a kiindulási mennyiség 10–20%-a még mindig a légkörben volt.

Nagyobb mennyiségű szén-dioxid bevitele esetén az impulzus lecsengése lassabb. A vegetáció szén-dioxid felvétele nem feltétlenül tud lépést tartani a magasabb légköri koncentrációval, mivel egyrészt korlátozottan állnak rendelkezésre a növényekben a szén-dioxid beépülését elősegítő enzimek, másrészt a növények a szén-dioxidon kívül más tápanyagokat is igényelnek. Ezek véges mennyiségben állnak rendelkezésre a talajban, ami fékezi, megakadályozhatja a szén-dioxid felvételét egy bizonyos szint felett (*Xu et al.*, 2025; *Bassett et al*., 2026). Az óceáni felvétel sem nő arányosan a koncentrációval, mivel a felszínközeli vízréteg gyorsan egyensúlyba kerül a légkörrel, a további felvétel pedig csak a mélységi rétegekkel való kicserélődés ütemében lehetséges, ami független a légköri koncentrációtól. A magasabb légköri koncentrációval járó melegebb éghajlat és a nagyobb szén-dioxid mennyiség beoldódás miatt növekvő savasodás sem kedvez az óceáni beoldódásnak, emellett a melegedés az átkeveredést is lassítja.

Joos és munkatársai 2013-ban 14 Föld-rendszer modellt (Earth System Model) indítottak 436 ppm-es jövőbeni feltételezett maximum koncentrációról (*Joos et al.*, 2013), melyet mára már majdnem meghaladtunk. Ezer modelléven keresztül követték nyomon a légköri szén-dioxid koncentráció alakulását, feltételezve, hogy a jelzett maximum-koncentráció elérése után további szén-dioxid kibocsátás már nem történik. Mind a bioszferikus, mind az óceáni szénfelvétel a légköri koncentrációtól függ, nem a kibocsátástól, ezért a kibocsátás megszűnése nem okoz azonnali változást a szén-dioxid felvételben. Ennek következtében a kibocsátás megszűnése után a légkör szén-dioxid tartalma a modellben gyors csökkenésnek indul. Az első 20 évben a modell-eredmények átlaga szerint a kiindulási légköri többlet szén-dioxid ~40%-a kerülhet ki a levegőből. A kezdetben gyorsan csökkenő légköri szén-dioxid koncentráció azonban egyre mérsékeltebb szén-dioxid stimulálást (szén-dioxid „trágyázást") jelent a bioszféra számára, aminek következtében nettó szénfelvétele gyorsan zsugorodik. A bioszféra néhány évtized alatt közel egyensúlyba kerül a légköri koncentrációval, a nettó anyagmérleg, a fotoszintézis és a respiráció különbsége, nulla közelébe csökken. További érdemi nettó szén-dioxid felvétel már nem várható. A bioszféra közelítő egyensúlyba kerülése után egyre inkább az óceánok jóval lassabb folyamatai veszik át a domináns szerepet, ahogy azt a korábbi modellek is mutatták. 100 évvel a kibocsátás megszűnése után az eredeti többlet szén-dioxid ~40%-a még mindig a légkörben lesz, és negyede még egy évezred múlva is befolyásolja a Föld éghajlatát. Joos és munkatársai (*Joos et al*., 2013) úgy találták, hogy az 1000 éven belüli szén-dioxid kiürülés üteme, a 14 modell átlaga, három exponenciális időfüggvény szuperpozíciójával viszonylag jól leírható. Fontos azonban megjegyezni, hogy ez csak a kiürülési görbe matematikai közelítése! Az egyes függvénytagoknak nincs fizikai jelentése.

A válaszidő a vizsgált rendszernek egy adott perturbációra, impulzusszerű anyagbevitelre vagy az anyagbevitel pillanatszerű megszűnésére adott reakcióját írja le. Az antropogén szén-dioxid kibocsátás pillanatszerű megszűnése azonban nem életszerű, csak a kibocsátás fokozatos megszűnése tekinthető reális jövőképnek. Kaufhold és munkatársai (*Kaufhold et al.*, 2025a) az impulzusszerű anyagbevitel mellett azt is megvizsgálták, hogyan alakul a légkör szén-dioxid tartalma az antropogén kibocsátás fokozatos megszüntetése esetén. Hat különböző nagyságú kumulatív kibocsátással és három különböző, időben közelítőleg gaussi lefutású kibocsátásiütem-változással számoltak. A jelen valósághoz legközelebb eső forgatókönyv 1000 Gt kumulatív szénkibocsátással és a kibocsátási maximumtól a nullára csökkenésig 75 év időtartammal számol. Ez 465 ppm-es csúcskoncentrációt

[7] A modellekben az egyes szférák/rezervoárok közötti anyagáramok követhetősége érdekében mindig széntömegben számolnak. 1 Gt szén 3,67 Gt szén-dioxidnak felel meg.



3. ábra. 75 éves felfutású és lefutású 1000, illetve 2000 gigatonnás kumulatív kibocsátás hatása a légköri széntartalomra 280 ppm-es iparosodás előtti koncentrációt feltételezve Kaufhold és munkatársainak adatai alapján (Kaufhold et al., 2025a). A) a modellezett kibocsátás és a szén-dioxid koncentráció időbeli alakulása; B) a modellezett kibocsátás és légkörben maradó hányadának időbeli alakulása; C) a szén-dioxid koncentráció és a modellezett kibocsátás légkörben maradó hányadának időbeli menete.

eredményez, amely a kibocsátási csúcs után 35 évvel áll be (*3. ábra*). Ennyi ideig tart ugyanis, amíg a kibocsátás annyira lecsökken, hogy már nem haladja meg a bioszféra és az óceán aktuális együttes nettó szénfelvételét, azaz nem növeli tovább a légköri koncentrációt.

A kibocsátás kezdetekor megindul a légköri koncentráció növekedése, és ennek hatására a bioszféra és az óceán nettó szénfelvétele is. A kibocsátással egyidejűleg zajlik a légkörbe került szén kivonása is. Ennek következménye, hogy mire a koncentráció a fenti forgatókönyv mellett eléri a maximumát, az addigi antropogén kibocsátás ~60%-a már nincs a levegőben. A valóságban az ipari forradalom kezdete óta az emberi tevékenységhez köthető körülbelül 740–750 gigatonnányi szénkibocsátásból már ~400 Gt (54%) kikerült a levegőből (*Friedlingstein et al.*, 2026). Az adott modellfeltételek mellett a koncentrációcsúcs idején meglévő antropogén széntöbblet csak 80 év alatt csökken 20%-ot, hiszen az időszak nagy részében még van antropogén kibocsátás. Ellentétben az egyszeri CO_2 impulzussal számoló modellekkel és közelebb a valósághoz, a nettó kikerülési sebesség kezdetben kicsi. A következő 20%-ra már további 270 évet kell várnunk. Mivel erre az időszakra már lezárul a nettó emberi kibocsátás, megadhatjuk, hogy ennek az időszaknak a végére a teljes, 1000 gigatonnás emberi kibocsátásnak a 23%-a marad a levegőben.

Mivel eddigre a bioszféra már inkább gyenge nettó forrás és az óceán is közelít a kváziegyensúlyi állapotához, a további kiürülés már nagyon lassú: 1000 évvel a koncentrációcsúcs után az emberi kibocsátás 15%-a, 10.000 év után pedig a 10%-a lesz még a levegőben. A modellt 100.000 modellévig futtatták, de a légköri koncentráció még ekkor is 20 ppm-mel magasabbnak adódott, mint az iparosodás előtti időszakban, ami nagyjából 5%-nyi többlet szén-dioxidnak felel meg (*Kaufhold et al.*, 2025a) (*3. ábra*). Fontos azonban megjegyezni, hogy a modell az időközben bekövetkező földpálya-változásokat és az ebből adódó besugárzásváltozásokat, a kapcsolódó éghajlati visszacsatolásokat nem kezeli. Ugyancsak fontos, hogy mivel az üledékképződést és a kőzetek kémiai mállását leíró kis fluxusokat csak nagy bizonytalansággal ismerjük, a sokezer éves távlatokra vonatkozó eredmények már eléggé bizonytalanok.

Kaufhold és munkatársainak (*Kaufhold et al.,* 2025a) számításai is alátámasztják azokat a korábbi modell-eredményeket, melyek szerint minél magasabb légköri koncentráció alakul ki, annál lassúbbá válik a kiürülés (*3.B ábra*). A magasabb koncentrációval nemcsak nagyobb az energetikai kényszer, hanem az előálló erőteljesebb éghajlatváltozás is hosszabb távon marad fenn, mélyrehatóbb változásokat okoz az ökológiai rendszerekben. Napjaink embere számára

talán kevésbé érdekes, hogy tízezer év után viszont már alig függ az antropogén többlet kikerülési üteme a kibocsátott anyagmennyiségtől. De a hasonló modellszámításoknál használt szélsőséges, 5000 gigatonnás kibocsátás esetén a 100.000 év után is megmaradó 5%-nyi többlet szén már 100 ppm-nyi többlet szén-dioxidot jelent az iparosodás előtti szinthez képest, amelynek nem elhanyagolható az éghajlati hatása.

A szén-dioxid kiürülése és az éghajlat

Bár a légköri szén-dioxid meghatározó vezérlője az éghajlatnak, döntéshozói és társadalmi szempontból nem annyira az az érdekes, hogy mikor mennyi van belőle a levegőben, hanem hogy hogyan alakítja az éghajlatot. A szén biogeokémiai körforgalma és az éghajlat közötti szoros visszacsatolás miatt a Föld-rendszer modellek az éghajlat alakulását is nyomon követik. Az eredmények nem adnak okot optimizmusra. Az óceánok nagy hőtehetetlensége miatt a hőmérséklet csak nagyon lassan reagál az üvegházhatás változására. Így történt ez a múltban is: csak 200 év intenzív légszennyezése után vált észrevehetővé az éghajlat változása. A Joos és munkatársai (*Joos et al.*, 2013) és a Kaufhold és munkatársai (*Kaufhold et al.*, 2025a) által használt Föld-rendszer modellek csak nagyon csekély, néhány tized fokos hőmérséklet-csökkenést mutatnak a CO_2-kibocsátás megszűntét követő évszázadokra, de más modellek sem mutatnak kedvezőbb képet (*Williams et al*., 2017; *MacDougall et al*., 2020; *King et al*., 2025). A jelenség hátterében egyrészt a sugárzási kényszert közvetlenül, illetve a visszacsatolásokon keresztül vezérlő szén-dioxid nagyon lassú kiürülése, illetve az óceánok hatalmas hőkapacitása áll.

A jelenlegi tendenciák alapján remélhető, hogy az antropogén szén-dioxid kibocsátás a belátható jövőben tetőzik. A mesterséges intelligencia alkalmazások adat- és számítóközpontjainak, az elektromobilitásnak erőteljesen növekvő, napi 24 órában jelentkező energiaigénye azonban megújuló forrásokból a rendelkezésre álló, a szükségeshez képest primitív, alacsony hatékonyságú energiatároló eszközökkel kielégíthetetlennek látszik. Erősen kétséges, hogy a kibocsátás-csökkentés olyan ütemben végrehajtható-e, ahogy azt az éghajlatpolitika elképzeli. A próbálkozások ellenére a távoli horizonton sem látszik olyan technológia, amely érdemi mennyiségben tudna szén-dioxidot kivonni a légkörből. Ha valamikor az évszázadunk második felében tetőzik is a légköri szén-dioxid koncentráció, a jelenlegi éghajlati trendek még bőven belenyúlhatnak a 22. századba. A modellek azt jelzik, hogy a légkörbe juttatott szén-dioxid 5–10%-a még évtízezredek után is a levegőben lesz. Ha az ebből eredő légköri koncentráció elég magas, és így elég nagy az éghajlati hatása, akkor akár meg is akadályozhatja a Milanković-ciklus közelgő következő eljegesedését (*Archer* and *Ganopolski*, 2005; *Ganopolski et al*., 2016; *Kaufhold et al.*, 2025b). A várhatóan évszázadokra, évezredekre kiható, potenciálisan komoly ökológiai változásokat okozó éghajlatváltozás ellenére meglepően kevés a hosszabb távú kutatás.

Összefoglalás

A fosszilis tüzelőanyagokból, a földkéregből felszabadított szén, amit zömmel szén-dioxidként juttatunk a légkörbe, a kibocsátás megszűnése után sem tűnik el, mindössze megoszlik az egymással kölcsönhatásban lévő szférák között. Több lesz belőle az óceánokban és a bioszférában, mint az ipari tevékenység megjelenése előtt, és arányos rész marad belőle a légkörben is, hosszú távon kifejtve éghajlatalakító hatását. A földkéreg fosszilis széntelepeit a természet évmilliók alatt hozta létre, és ugyanennyi idő lesz, amíg visszagyűjti az ember által felhasznált szenet. Néhány száz éves tevékenységünkkel geológiai korokra kihatóan alakítjuk a Föld történetét.

Irodalom

Archer, D., Eby, M., Brovkin, V., Ridgwell, A., Cao, L., Mikolajewicz, U., Caldeira, K., Matsumoto, K., Munhoven, G., Montenegro, A., Tokos, K. and 2009: Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 37, 117-134. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100206

Archer, D. and *Ganopolski, A.,* 2005: A movable trigger: Fossil fuel CO_2 and the onset of the next glaciation. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 6, Q05003. https://doi.org/10.1029/2004GC000891

Ballantyne, A.P., Alden, C.B., Miller, J.B., Tans, P.P. and *White, J.W.C.,* 2012: Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and oceans during the past 50 years. *Nature* 488, 70-72. https://doi.org/10.1038/nature11299

Bassett, K.R., Hupperts, S.F., Jämtgård, S., Östlund, L., Fridman, J., Perakis, S.S. and *Gundale, M.J*., 2026: Rising atmospheric CO_2 reduces nitrogen availability in boreal forests. *Nature* 650, 629-635. https://doi.org/10.1038/s41586-025-10039-5

Bereiter, B., Eggleston, S., Schmitt, J., Nehrbass-Ahles, C., Stocker, T.F., Fischer, H., Kipfstuhl, S. and *Chappellaz, J.,* 2015: Antarctic ice cores revised 800 kyr CO_2 data. https://www.ncei.noaa.gov/access/paleo-search/study/17975. https://doi.org/10.25921/n8y4-bp27

Blunden, J., Reagan, J. and *Dunn, R.J.H.,* 2025: State of the climate in 2024. *Bulletin of the American Meteorological Society* 106, S1-S513. https://doi.org/10.1175/2025BAMSStateoftheClimate.1

Canadell, J.G., Monteiro, P.M.S., Costa, M.H., Cunha, L.C.d., Cox, P.M., Eliseev, A.V., Henson, S., Ishii, M., Jaccard, S., Koven, C., Lohila, A., Patra, P.K., Piao, S., Rogelj, J., Syampungani, S., Zaehle, S., Zickfeld, K., 2021: Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks. *In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*, 673-816. https://doi.org/10.1017/9781009157896.007

Catling, D.C. and *Zahnle, K.J.*, 2020: The Archean atmosphere. *Science Advances* 6, eaax1420. https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1420

Clark, I.D., 1971: The chemical knetics of CO_2 atmospheres. *Journal of Atmospheric Sciences* 28, 847-858. https://doi.org/10.1175/1520-0469(1971)028<0847:TCKOCA>2.0.CO;2

Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Bakker, D.C.E., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Li, H., Luijkx, I.T., Peters, G.P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J.G., Ciais, P., Aas, K., Alin, S.R., Anthoni, P., Barbero, L., Bates, N.R., Bellouin, N., Benoit-Cattin, A., Berghoff, C.F., Bernardello, R., Bopp, L., Brasika, I.B.M., Chamberlain, M.A., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L.P., Collier, N.O., Colligan, T.H., Cronin, M., Djeutchouang, L., Dou, X., Enright, M.P., Enyo, K., Erb, M., Evans, W., Feely, R.A., Feng, L., Ford, D.J., Foster, A., Fransner, F., Gasser, T., Gehlen, M., Gkritzalis, T., Goncalves De Souza, J., Grassi, G., Gregor, L., Gruber, N., Guenet, B., Gürses, Ö., Harrington, K., Harris, I., Heinke, J., Hurtt, G.C., Iida, Y., Ilyina, T., Ito, A., Jacobson, A.R., Jain, A.K., Jarníková, T., Jersild, A., Jiang, F., Jones, S.D., Kato, E., Keeling, R.F., Klein Goldewijk, K., Knauer, J., Kong, Y., Korsbakken, J.I., Koven, C., Kunimitsu, T., Lan, X., Liu, J., Liu, Z., Lo Monaco, C., Ma, L., Marland, G., McGuire, P.C., McKinley, G.A., Melton, J., Monacci, N., Monier, E., Morgan, E.J., Munro, D.R., Müller, J.D., Nakaoka, S.I., Nayagam, L.R., Niwa, Y., Nutzel, T., Olsen, A., Omar, A.M., Pan, N., Pandey, S., Pierrot, D., Qin, Z., Regnier, P.A.G., Rehder, G., Resplandy, L., Roobaert, A., Rosan, T.M., Rödenbeck, C., Schwinger, J., Skjelvan, I., Smallman, T.L., Spada, V., Sreeush, M.G., Sun, Q., Sutton, A.J., Sweeney, C., Swingedouw, D., Séférian, R., Takao, S., Tatebe, H., Tian, H., Tian, X., Tilbrook, B., Tsujino, H., Tubiello, F., van Ooijen, E., van der Werf, G., van de Velde, S.J., Walker, A., Wanninkhof, R., Yang, X., Yuan, W., Yue, X. and *Zeng, J.,* 2026: Global Carbon Budget 2025. *Earth Syst. Sci. Data*, 18, 3211-3288, https://doi.org/10.5194/essd-18-3211-2026,

Ganopolski, A., Winkelmann, R., Schellnhuber, H.J., 2016: Critical insolation–CO_2 relation for diagnosing past and future glacial inception. *Nature* 529, 200-203. https://doi.org/10.1038/nature16494

Gimeno, L., Eiras-Barca, J., Durán-Quesada, A.M., Dominguez, F., van der Ent, R., Sodemann, H., Sánchez-Murillo, R., Nieto, R. and *Kirchner, J.W.,* 2021: The residence time of water vapour in the atmosphere. *Nature Reviews Earth & Environment* 2, 558-569. https://doi.org/10.1038/s43017-021-00181-9

Haszpra, L., 2024a: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig. *Légkör* 69, 18-24. https://doi.org/10.56474/legkor.2024.1.1

Haszpra, L., 2024b: Multi-decadal atmospheric carbon dioxide measurements in Hungary, central Europe. *Atmos. Meas. Tech.* 17, 4629-4647. https://doi.org/10.5194/amt-17-4629-2024

Haszpra, L., 2025: A légkör szerepe az éghajlati rendszerben. *Légkör* 70, 134-142. https://doi.org/10.56474/legkor.2025.3.1

Haszpra, L., 2026: A szén biogeokémiai körforgalma és az éghajlat. *Légkör* 71, 2-9. https://doi.org/10.56474/legkor.2026.1.1

IPCC, 1990: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Report prepared for IPCC by Working Group 1. (eds.: J. T. Houghton, G. J. Jenkins, J .J .Ephraums.) Cambridge University Press. Cambridge - New York - Port Chester - Melbourne - Sydney.

IPCC, 2001: Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds.: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A.) Cambridge University Press. Cambridge - New York - Melbourne - Madrid - Cape Town.

Joos, F., Gerber, S., Prentice, I.C., Otto-Bliesner, B.L. and *Valdes, P.J.,* 2004: Transient simulations of Holocene atmospheric carbon dioxide and terrestrial carbon since the Last Glacial Maximum. *Global Biogeochemical Cycles* 18, GB2002. https://doi.org/10.1029/2003GB002156

Joos, F., Roth, R., Fuglestvedt, J.S., Peters, G.P., Enting, I.G., von Bloh, W., Brovkin, V., Burke, E.J., Eby, M., Edwards, N.R., Friedrich, T., Frölicher, T.L., Halloran, P.R., Holden, P.B., Jones, C., Kleinen, T., Mackenzie, F.T., Matsumoto, K., Meinshausen, M., Plattner, G.K., Reisinger, A., Segschneider, J., Shaffer, G., Steinacher, M., Strassmann, K., Tanaka, K., Timmermann, A. and *Weaver, A.J.*, 2013: Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics:

a multi-model analysis. *Atmos. Chem. Phys*. 13, 2793-2825. https://doi.org/10.5194/acp-13-2793-2013

Kaufhold, C., Willeit, M., Liu, B. and *Ganopolski, A.*, 2025a: Assessing the lifetime of anthropogenic CO_2 and its sensitivity to different carbon cycle processes. *Biogeosciences* 22, 2767-2801. https://doi.org/10.5194/bg-22-2767-2025

Kaufhold, C., Willeit, M., Munhoven, G., Klemann, V. and *Ganopolski, A.*, 2025b: Timing of a future glaciation in view of anthropogenic climate change. *Communications Earth & Environment* 6, 1016. https://doi.org/10.1038/s43247-025-02867-0

Keeling, C.D., Piper, S.C., Bacastow, R.B., Wahlen, M., Whorf, T.P., Heimann, M. and *Meijer, H.A.*, 2001: Exchanges of atmospheric CO_2 and $13CO_2$ with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000. I. Global aspects. *SIO Reference Series, No. 01-06, Scripps Institution of Oceanography, San Diego* http://escholarship.org/uc/item/09v319r9

King, A.D., Alastrué de Asenjo, E., Maycock, A.C., Ziehn, T., Borowiak, A.R., Clark, S. and *Maher, N.*, 2025: Detectability of post-net zero climate changes and the effects of delay in emissions cessation. *Earth's Future* 13, e2025EF006918. https://doi.org/10.1029/2025ef006918

Lacis, A.A., Schmidt, G.A., Rind, D. and *Ruedy, R.A.*, 2010: Atmospheric CO_2: principal control knob governing Earth's temperature. *Science* 330, 356-359. https://doi.org/10.1126/science.1190653

MacDougall, A.H., Frölicher, T.L., Jones, C.D., Rogelj, J., Matthews, H.D., Zickfeld, K., Arora, V.K., Barrett, N.J., Brovkin, V., Burger, F.A., Eby, M., Eliseev, A.V., Hajima, T., Holden, P.B., Jeltsch-Thömmes, A., Koven, C., Mengis, N., Menviel, L., Michou, M., Mokhov, I.I., Oka, A., Schwinger, J., Séférian, R., Shaffer, G., Sokolov, A., Tachiiri, K., Tjiputra, J., Wiltshire, A., and *Ziehn, T.*, 2020: Is there warming in the pipeline? A multi-model analysis of the Zero Emissions Commitment from CO_2. *Biogeosciences* 17, 2987-3016. https://doi.org/10.5194/bg-17-2987-2020

Martinez-Boti, M.A., Foster, G.L., Chalk, T.B., Rohling, E.J., Sexton, P.F., Lunt, D.J., Pancost, R.D., Badger, M.P.S. and *Schmidt, D.N.*, 2015: Plio-Pleistocene climate sensitivity evaluated using high-resolution CO_2 records. *Nature* 518, 49-54. https://doi.org/10.1038/nature14145

Morice, C.P., Berry, D.I., Cornes, R.C., Cowtan, K., Cropper, T., Hawkins, E., Kennedy, J.J., Osborn, T.J., Rayner, N.A., Recinos Rivas, B., Schurer, A.P., Taylor, M., Teleti, P.R., Wallis, E.J., Winn, J and *Kent, E.C.*, 2025: An observational record of global gridded near-surface air temperature change over land and ocean from 1781. *Earth Syst. Sci. Data* 17, 7079-7100. https://doi.org/10.5194/essd-17-7079-2025

Parker, D.E., Wilson, H., Jones, P.D., Christy, J.R. and *Folland, C.K.*, 1996: The impact of Mount Pinatubo on world-wide temperatures. *International Journal of Climatology* 16, 487-497. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199605)16:5<487::AID-JOC39>3.0.CO;2-J

Petty, G.W., 2006: A first course in atmospheric radiation. Sundog Publishing, Madison, Wisconsin, USA

Romaniello, V., Spinetti, C., Silvestri, M. and *Buongiorno, M.F.*, 2021: A methodology for CO_2 retrieval applied to hyperspectral PRISMA data. *Remote Sensing* 13, 4502. https://doi.org/10.3390/rs13224502

Ruddiman, W.F., Fuller, D.Q., Kutzbach, J.E., Tzedakis, P.C., Kaplan, J.O., Ellis, E.C., Vavrus, S.J., Roberts, C.N., Fyfe, R., He, F., Lemmen, C. and *Woodbridge,* J., 2016: Late Holocene climate: Natural or anthropogenic? *Reviews of Geophysics* 54, 93-118. https://doi.org/10.1002/2015RG000503

Schmidt, G.A., Ruedy, R.A., Mille, R.L. and *Lacis, A.A.*, 2010: Attribution of the present-day total greenhouse effect. *J. of Geophysical Research* 115D, D20106. https://doi.org/10.1029/2010JD014287

Seinfeld, J.H. and *Pandis, S.N.*, 2016: Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey

Tans, P.P., 1997: The CO2 lifetime concept should be banished. An Editorial comment. *Climatic Change* 37, 487-490. https://doi.org/10.1023/A:1005373006194

Toohey, M., Jia, Y., Khanal, S. and *Tegtmeier, S.*, 2025: Stratospheric residence time and the lifetime of volcanic stratospheric aerosols. *Atmos. Chem. Phys*. 25, 3821-3839. https://doi.org/10.5194/acp-25-3821-2025

Watson, R.T., Rodhe, H., Oeschger, H. and *Siegenthaler, U.*, 1990: Greenhouse gases and aerosols. In: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment (Eds.: J. T. Houghton, G. J. Jenkins, J. J. Ephraums), Cambridge University Press, Cambridge - New York - Port Chester -Melbourne - Sydney, 1-40

Wild, M., Folini, D., Hakuba, M., Schär, C., Seneviratne, S., Kato, S., Rutan, D., Ammann, C., Wood, E. and *König-Langlo, G.*, 2015: The energy balance over land and oceans: an assessment based on direct observations and CMIP5 climate models. *Climate Dynamics* 44, 3393-3429. https://doi.org/10.1007/s00382-014-2430-z

Williams, R.G., Roussenov, V., Frölicher, T.L. and *Goodwin, P.*, 2017: Drivers of continued surface warming after cessation of carbon emissions. *Geophysical Research Letters* 44, 10,633-610,642. https://doi.org/10.1002/2017GL075080

Xu, N., Wang, T., Wang, Y., Dong, J. and *Bao, W.*, 2025: Photosynthetic responses of forests to elevated CO_2: A cross-scale constraint framework and a roadmap for a multi-stressor world. *Biology* 14, 1534. https://doi.org/10.3390/biology14111534



Hó- és hőmérsékleti viszonyok elemzése a 2026 január eleji havazás tükrében

Zaveczki-Hoffmann Lilla, Simon Csilla, Megyeri-Korotaj Otília
HungaroMet Nonprofit Zrt., hoffmann.l@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2026.3.2

2026 január elején egy mediterrán ciklon vonult át hazánk felett, melynek hátoldalán hidegebb levegő áramlott be, így az addigi eső havazásba váltott át, amely több napig tartott és ennek köszönhetően január 7-re az ország egész területét hó fedte be. A hóvastagság az ország nagy részén általában 15–20 cm körül alakult. Tanulmányunkban röviden áttekintjük a 2026. januári havazás szinoptikai hátterét. A hó- és hőmérsékletviszonyok elemzésével bemutatjuk, hogy a január elején leesett nagy mennyiségű hó mennyire tekinthető extrémnek, mikor volt legutóbb ekkora havazás az országban és mire számíthatunk a jövőben.

Analysis of snow and temperature conditions in the light of the early January 2026 snowfall

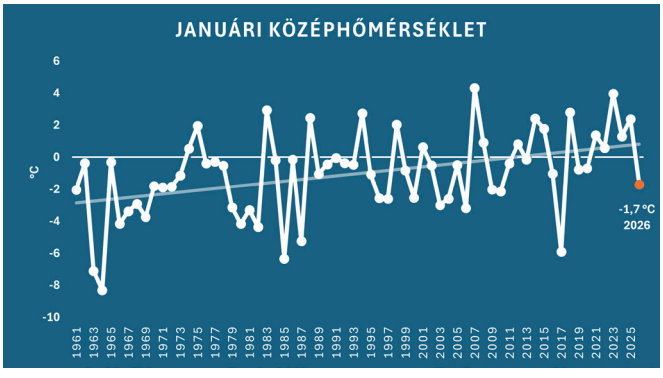
In early January 2026, a Mediterranean cyclone passed over Hungary and the inflow of cold air caused the precipitation to turn from rainfall into snowfall. The snowfall lasted for several days, and as a result, by January 7th the entire country was covered with snow. Snow depth across most of the country was generally around 15–20 cm. In our study, we review the synoptic background of the snowfall in January 2026. By analyzing snow and temperature conditions, we assess how extreme the heavy snowfall in early January was, identify when similar event last occurred in the country, and discuss what can be expected in the future.

2026. január 2-án hidegfront érkezett térségünkbe, aminek a mozgása hazánk felett lelassult, hullámot vetett és kialakult egy mediterrán ciklon, ami az ország déli felén nagy területen okozott jelentős mennyiségű csapadékot. A csapadék jelentős része eső volt, ami a ciklon hátoldalán beáramló hidegebb levegő miatt havazásba váltott át, és több cm-es hóréteg alakult ki főleg a Dunántúl déli tájain, majd másnap a Dél-Alföldön is. A lehűlés tovább folytatódott, így a csapadék hó formájában hullott országszerte. Kezdetben a délkeleti, keleti tájakon még előfordult eső, havas eső, esetleg ónos eső. Január 5-től nagy területen egész nap fagypont alatt maradt a hőmérséklet, amivel kezdetét vette az idei tél egyetlen hidegebb időszaka. Január 5-én és 6-án is sokfelé hullott 5–10 mm feletti csapadék hó formájában. A fagypont alatti hőmérséklet miatt a hóvastagság gyorsan növekedett, és január 7-re az ország egész területét hó fedte be, aminek a vastagsága az ország nagy részén általában 15–20 cm körül alakult, de a hegyvidékeken és délnyugaton több állomás 25 cm feletti hóvastagságot jelentett. A hideg időjárás január 22-ig tartott, így az ország jelentős részén

a vastag hóréteg mintegy három héten át megmaradt, amihez hasonló ezt megelőzően legutóbb 2012 februárjában volt Magyarországon.

A hőmérsékleti viszonyok elemzése 1961-től napjainkig

Az elemzéshez sűrű, szabályos rácshálózatra interpolált értékeket vettünk alapul. Az országos januári középhőmérséklet értékeket vizsgáltuk meg az 1961–2026 közötti időszakban, és feltüntettük a 2026. januári átlagértéket (*1. ábra*). Jól látható, hogy a januári középhőmérséklet növekvő tendenciát mutat, a változás mértéke 3,7 °C. Az idei januári középhőmérséklet -1,7 °C-nak adódott, amely 1,2 °C-kal tért el az 1991–2020-as sokéves átlagtól (-0,5 °C).

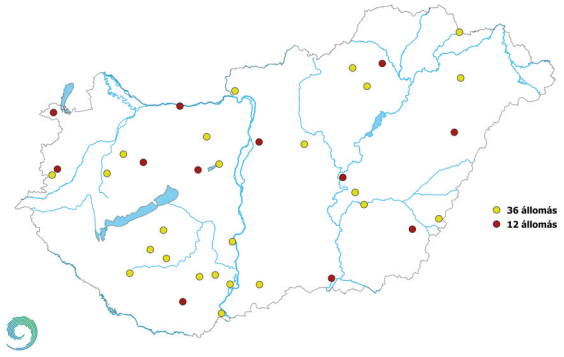


1. ábra. Az országos januári középhőmérséklet értékek 1961–2026 között.

A hóviszonyok elemzése 1961-től napjainkig

A hóviszonyok elemzéséhez 36 állomás adatsorait vettük alapul 1961–2025 között. Ezek az állomások rendelkeztek kellően hosszú, megbízható adatsorral. Az országos átlagértékek meghatározásánál is ezeket vettük figyelembe.

A vizsgált 36 állomásból az egységes térbeli lefedettséget szem előtt tartva az ország különböző pontjairól kiválasztottunk 12-t (*2. ábra*), melyek adatait részletesebben is bemutatjuk az országos átlagértékek mellett. Az *1. táblázat* tartalmazza ezen állomások maximális hóvastagság értékeit 2026 januárjában. Az állomások zömében a hóvastagság értéke 10 cm felett volt, néhány állomáson 20 cm feletti értékeket is mértünk, Bakonybél állomáson volt a legnagyobb, 25 cm. Zárójelben feltüntettük, hogy melyik napon érte el a hóvastagság a maximális értéket az egyes állomásokon. A Dunántúlon, valamint az ország északi és középső részén január 7-én regisztráltuk a legnagyobb

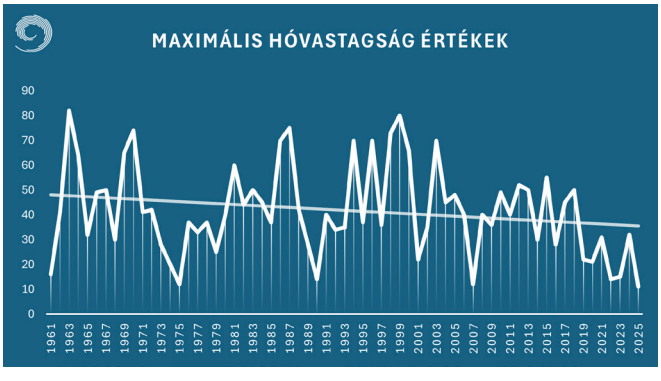


2. ábra. Az elemzéshez figyelembe vett állomások.

	Maximális hóvastagság [cm]
Bakonybél	25 (január 8-11.)
Békéscsaba	17 (január 14.)
Budapest Pestszentlőrinc	19 (január 7.)
Debrecen	19 (január 14.)
Komárom	18 (január 7.)
Miskolc	20 (január 7.)
Pécs	18 (január 8.)
Sopron	5 (január 11 és 13.)
Szeged	17 (január 10.)
Székesfehérvár	21 (január 7.)
Szolnok	19 (január 10.)
Szombathely	7 (január 7.)

1 táblázat. A maximális hóvastagság értékek 2026. januárban.

értéket, Szolnokon és Szegeden január 10-én, a keleti országrészben pedig január 14-én. A 36 állomás adatai alapján számolt országos maximális hóvastagság idősorát mutatja be a *3. ábra*. Az 1961–2025 közötti időszak-



3. ábra. Az országos maximális hóvastagság értékek 1961–2025 között.

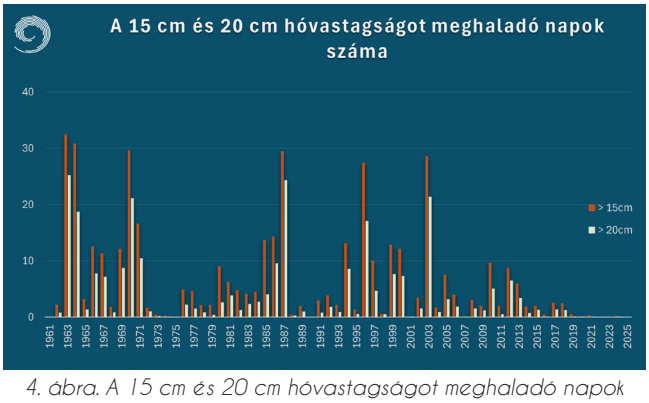
ban csökkenő tendencia figyelhető meg. A legnagyobb érték 1963-ban volt 82 cm-rel Bakonybél állomáson, míg a legkisebb 2025-ben adódott (11 cm-rel) Bogácson.

Ezután megvizsgáltuk, mikor volt a legutolsó alkalom, amikor 15 cm-t és 20 cm-t meghaladta a maximális hóvastagság értéke a vizsgált állomásokon (*2. táblázat*). (Ahol ez idén is bekövetkezett, ott zárójelben feltüntettük, hogy ezt megelőzően mikor volt legutóbb ilyen esemény). Jól látható, hogy Komárom, Székesfehérvár, Szolnok és Békéscsaba állomásokon idén a hóvastagság meghaladta a 15 cm-t, de ehhez több mint 10 évet kellett várni. Miskolcon, Bakonybélben,

	≥15 cm	≥20 cm
Bakonybél	2026 (2024)	2026 (2024)
Békéscsaba	2026 (2013)	2012
Budapest Pestszentlőrinc	2026 (2019)	2010
Debrecen	2026 (2012)	2012
Komárom	2026 (2013)	2013
Miskolc	2026 (2021)	2026 (2018)
Pécs	2026 (2020)	2020
Sopron	2021	2018
Szeged	2026 (2019)	2012
Székesfehérvár	2026 (2013)	2026 (2013)
Szolnok	2026 (2013)	2012
Szombathely	2018	2013

2 táblázat. Az utolsó év, amikor a hóvastagság meghaladta a 15 és 20 cm-t (1961–2025).

Pécsen és Sopronban az elmúlt években is volt 15 cm-t meghaladó hó. 20 cm-es hóvastagság a legtöbb állomáson több mint 10 éve nem volt.



4. ábra. A 15 cm és 20 cm hóvastagságot meghaladó napok száma országos átlagban 1961–2025 között.

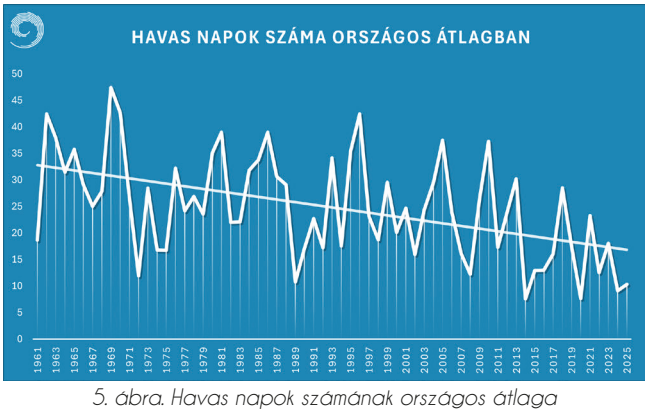
	≥15 cm	≥20 cm
Bakonybél	55	49
Békéscsaba	31	19
Budapest Pestszentlőrinc	29	18
Debrecen	26	16
Komárom	33	25
Miskolc	33	22
Pécs	39	25
Sopron	40	31
Szeged	28	18
Székesfehérvár	30	22
Szolnok	29	16
Szombathely	31	21

3. táblázat. Évek száma, amikor meghaladta a maximális hóvastagság a küszöbértékeket (1961–2025).

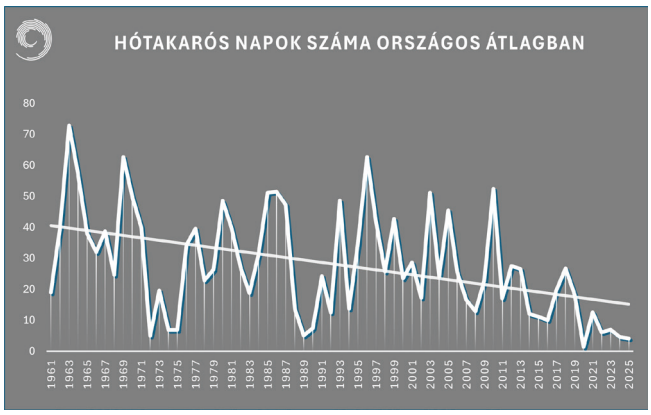
Az elmúlt 10 évben meglehetősen lecsökkent a 15 cm és 20 cm hóvastagságot meghaladó napok száma (*4. ábra*). Kimagasló érték legutóbb 2003-ban volt.

A *3. táblázatban* összegeztük, hány olyan év volt, amikor ezeket a küszöbértékeket meghaladta a hóvastagság. A rekorder Bakonybél állomás, ahol az elmúlt 65 évben 55 alkalommal fordult elő 15 cm-t, és 49 alkalommal 20 cm-t meghaladó hóréteg. A vizsgált időszak mintegy felében detektálunk 15 cm-s hóvastagságot, és kb. harmadában 20 cm-t.

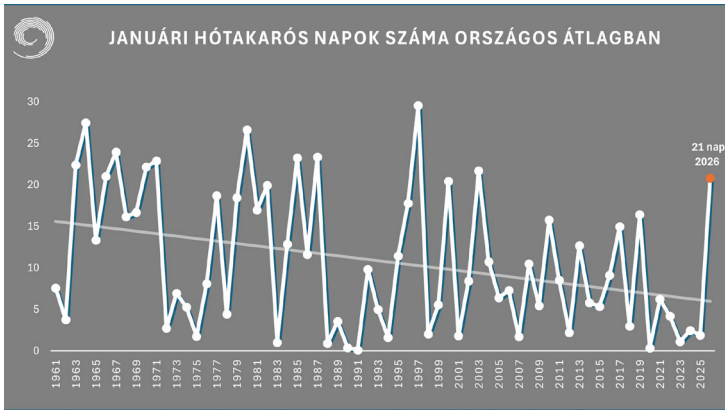
A havas napok száma (amikor az észlelők havazást tapasztalnak) is csökkenő tendenciát mutat, a csökkenés mértéke 16 nap 1961–2025 között (*5. ábra*). A legtöbb havas nap 1969-ben adódott, országos átlagban 47 ilyen nap fordult elő, míg a legkevesebb 2014-ben és 2020-ban (8 nap). A hótakarós napok száma (ha



5. ábra. Havas napok számának országos átlaga 1961–2025 között.



6. ábra. Hótakarós napok számának országos átlaga 1961–2025 között.



7. ábra. Januári hótakarós napok számának országos átlaga 1961–2026 között.

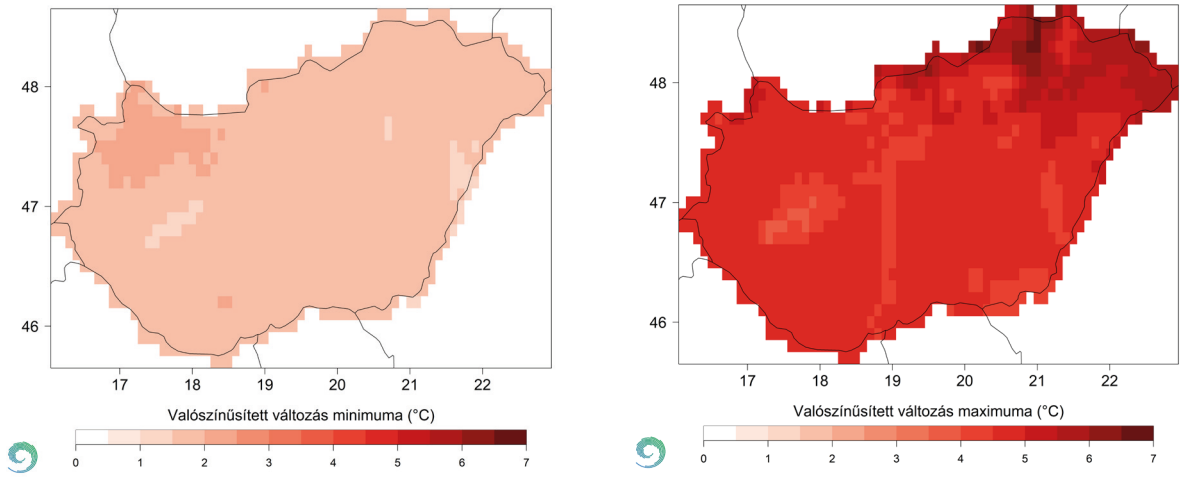
a reggel 7 órás észleléskor legalább 1 cm-es a hóréteg borítja a felszínt) is hasonló képet mutat, ahogy haladunk a jelenhez, annál kisebb értékek adódnak (*6. ábra*). Országos átlagban a legtöbb, 73 hótakarós nap 1963-ban volt, míg a legkevesebb (1 nap) 2020-ban. A csökkenés mértéke 25 nap a vizsgált időszakban.

Idén januárban 21 hótakarós napot regisztráltunk országos átlagban (*7. ábra*), ami jelentősen meghaladja az 1991–2020-as normál értéket (9 nap). Legutóbb több mint 20 éve, 2003-ban volt ennél több hótakarós nap januárban.

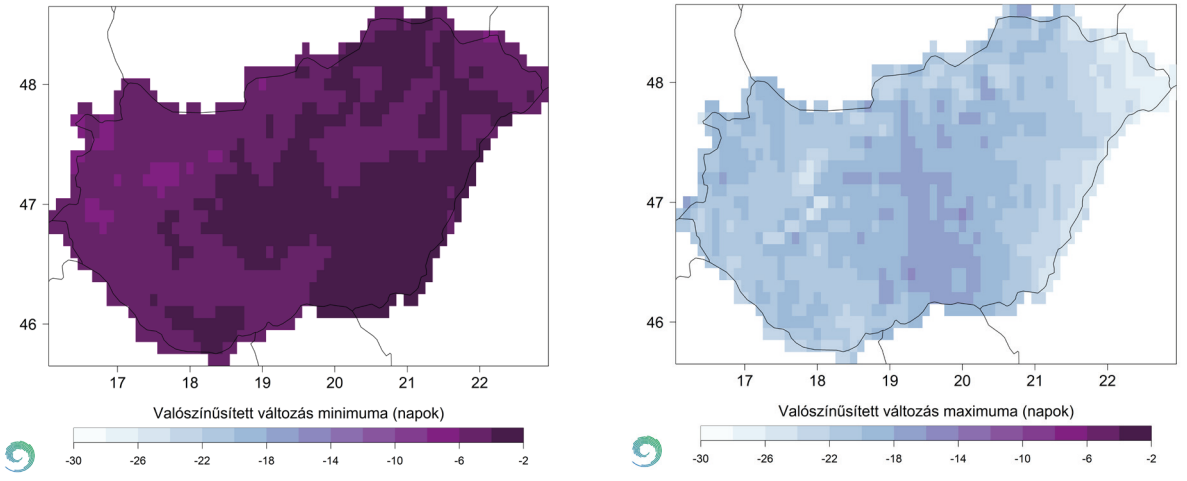
Várható hőmérsékleti- és hóviszonyok 2071–2100 között

Tanulmányunk részeként elemezzük, hogy a 21. század végére, a 2071–2100 időszakra hogyan változhat a januári középhőmérséklet, valamint a havas napok átlagos éves gyakorisága. Ezen változás értékek meghatározásához referenciaként az 1981–2010 időszakot jelöltük ki. A számításhoz a HungaroMet-nél futtatott két regionális éghajlati modell, a REMO2015 és az ALADIN5.2 modellek 10 km-es felbontású szimulációit elemeztük a közepes (RCP4.5), valamint a magas (RCP8.5) üvegházgáz-kibocsátást feltételező szcenáriók figyelembevételével (*Megyeri-Korotaj et al.*, 2022). Az éghajlat természetes belső változékonysága, a modellek közelítő jellege és a jövőbeli antropogén kibocsátás mértékének bizonytalansága miatt a modellek eredményei bizonyos fokú bizonytalansággal terheltek. Ennek számszerűsítésére a 4 tagú modellszimuláció-együttes által valószínűsített legkisebb, illetve legnagyobb mértékű változások értékeit adjuk meg.

Az 1981–2010-es referencia időszakban mért januári középhőmérséklet -0,98 °C volt. A négy éghajlati modellszimuláció eredménye alapján ez országos



8. ábra. A januári középhőmérséklet várható változása a modelleredmények minimuma és maximuma alapján a 2071–2100 időszakban (referencia: 1981–2010).



9. ábra. A havas napok átlagos éves számában várható változás minimuma és maximuma a 2071–2100 időszakban (referencia: 1981–2010).

átlagban 1,8–4,8 °C-kal emelkedhet a 21. század utolsó évtizedeire. Ha a változás minimumát tekintjük (8. ábra bal panel), 2 °C feletti értékek a Kisalföldön jelennek meg. A szimuláció-együttes által valószínűsített változás maximuma alapján (*8. ábra* jobb panel) a legnagyobb, 5–7 °C-os változás az ország északi, északkeleti területein következhet be.

Megvizsgáltuk azt is, hogy milyen mértékű változást szimulálnak a klímamodellek a havas napok átlagos éves számában a 21. század utolsó évtizedeire. Havas napnak tekintettük azokat a napokat, amikor a lehulló hócsapadék mennyisége meghaladta a 0,1 mm-t. A havas napok várható átlagos éves számában jelentős a bizonytalanság: a négy modellszimuláció minimuma és maximuma alapján a 2071–2100 időszakra országos átlagban 4–21 nappal csökkenhet a számuk. A *9. ábrán* láthatjuk, hogy a modelleredmények minimuma alapján átlagosan évente 2–7 nap (bal panel), az országos maximum alapján pedig 15–29 nap csökkenés várható Magyarországon (jobb panel). Az Északi-középhegységben, a Bakonyban, valamint az ország keleti szélén láthatjuk a nagyobb mértékű változás értékeket (a modelleredmények maximuma alapján 24–28 nappal csökkenhet), míg az Alföld középső területein mutatkozik meg a kisebb mértékű csökkenés.

Összefoglalás

Tanulmányunkban bemutattuk, hogyan alakultak a januári középhőmérséklet értékek és a 2026 január elején leesett nagy mennyiségű hó mennyire tekinthető extrémnek. Megvizsgáltuk, mikor volt legutóbb ekkora havazás az országban és mire számíthatunk a jövőben.

A 2026. január középhőmérséklete -1,7 °C-nak adódott, amely 1,2 °C-kal maradt el az 1991–2020-as sokéves átlagtól (-0,5 °C). A havas indexek (havas napok száma, hótakarós napok száma, maximális hóréteg) csökkenő tendenciát mutatnak. Néhány kivételtől eltekintve (Bakonybél és Pécs) az ország nagy részén több mint 10 éve nem volt 20 cm-t meghaladó hó. Idén januárban 21 hótakarós napot regisztráltunk, ami jelentősen meghaladta a sokéves átlagot (9 nap). Legutóbb több mint 20 éve volt ennél több hótakarós nap januárban.

A jövőt tekintve elmondható, hogy a januári középhőmérséklet országos átlagban mintegy 1,8-4,8 °C-kal növekedhet a 21. század végére. A havas napok száma átlagosan 4 nappal csökkenhet az optimistább forgatókönyv szerint, míg a maximális csökkenés 21 nap lehet.

Irodalomjegyzék

Megyeri-Korotaj Otília, Bán Beatrix és *Suga Réka* (2022). A REMO2015 és az ALADIN5.2 regionális klímamodellek projekciós eredményeinek közös kiértékelése. *KlimAdat projekt beszámoló*. https://www.met.hu/klimadat/doc/reports/KLIMADAT_beszamolo_Megyeri-Korotaj_etal_202203.pdf Letöltés dátuma: 2026. 01. 20.



A felszínhőmérséklet változása Magyarországon 1km-es MODIS adatok alapján 2001 és 2025 között

Báder László, Szilágyi József, Józsa János
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízgazdálkodási és Vízépítési Tanszék, laszlo.bader@edu.bme.hu

DOI:10.56474/legkor.2026.3.3

A Meteorológiai Világszervezet az alapvető éghajlati mutatók között tartja számon a felszínhőmérsékletet. A távérzékelés fejlődésével a Föld teljes felszínén rendszeressé vált a felszínhőmérséklet mérése. A MODIS műszerekkel felszerelt Terra műhold adatai alapján Magyarországon a felszínhőmérséklet sokéves átlaga 2001 és 2025 között 16,31 °C fok volt, amely 1,5 °C fokot emelkedett az időszakban, trendje szignifikáns: 0,63 ±0,15 °C/évtized (p=0,011). Júliusban 2,2 °C, augusztusban 2,14 °C, szeptemberben 1,66 °C volt a felszín melegedése. Ugyanebben az időszakban a levegő éves átlaghőmérsékletének emelkedése 0,65 °C/évtized volt (p=0,003) HungaroMet adatok alapján. Az eredmények ingyenesen elérhetők (figshare.com), segíthetnek a felszínborítás és területhasználat elemzésében és annak meghatározásában is, hogy milyen formában célszerű rendszeresíteni a felszínhőmérséklet adatok közlését.

Land surface temperature changes in Hungary from 1km MODIS data between 2001 and 2025

The World Meteorological Organization defines land surface temperature to be one of the essential climate variables. The latest developments in remote sensing allow for the systematic measurement of land surface temperature (LST) over the entire surface of the Earth. Measurements from the Terra satellite equipped with MODIS instruments, show, that the long-term (2001-2025) average land surface temperature of Hungary was 16.31 °C which has increased by 1.5 °C in this period with trend 0,63 ±0,15 °C/decade, p=0,011. MODIS LST warming was 2.2 °C in July, 2.14 °C in August, and 1.66 °C in September. During the same period air temperature has increased with trend 0,65 °C/decade, p=0,003, based on data from HungaroMet. Annual and monthly land surface temperature maps are available free of charge (figshare.com), providing support for further analysis of land use and land cover.

Az energiamegmaradás törvénye értelmében a Föld felszínét éves és napi ritmusban érő nettó sugárzás hat a felszínre, tárolódik vagy más formában távozik el a felszínről. A folyamatokat a felszíni energiamérleg összetevőinek dinamikus egyensúlya jellemzi (*Bastiaanssen et al*. 1998; *Péczely*, 1998). A légkörzés és vízkörzés ennek a rendszernek az elválaszthatatlan alrendszerét képezik. A bemeneti oldalon a felszíni folyamatok vizsgálatakor a felszínen rendelkezésre álló nettó sugárzáson kívüli természetes folyamatok energiái (radioaktivitás, földhő stb.) elhanyagolhatók, a 173 000 TW-hoz képest a 47 TW mindössze 0,03%-ot jelent (*Davies* and *Davies*, 2010; *Ellison et al*., 2024). Éves szinten a talaj hőáram kiegyenlítődik

és más kisebb tagokkal együtt elhanyagolható. A szárazföldi életfeltételek kialakításában és szabályozásában, a léghőmérséklet élhető tartományban tartásában a Duna vízgyűjtő területén is jelentős szerepet játszik a párolgás (*Eiseltová et al*., 2012; *Báder* 2025; *Báder*, 2026).

Figyelmeztető jel, hogy a szárazföldeken a globális átlagnál nagyobb és gyorsabb ütemben emelkedik a levegő hőmérséklete (*IPCC*, 2019). A melegebb levegő növeli a párolgási igényt, és ahol ezt a vízellátás nem képes biztosítani, ott még jobban melegszik a felszín, még tovább növeli a párolgási igényt, csökkenti a talajnedvességet és bizonyos körülmények között hátráltatja a felhőképződést (*Orth*, 2021). Mindez pozitív visszacsatolást jelent a felszíni folyamatokban. A globális felmelegedés vizsgálatakor (amelyet szárazföldön elsősorban a levegő felmelegedésével jellemzünk) tehát a szárazföldek felszínhőmérséklet-változásának hatását nagyobb hangsúllyal kell kezelni.

A Meteorológiai Világszervezet 2016-ban felülvizsgálta a globális éghajlat megfigyelő rendszerrel (Global Climate Observing System, GCOS) szemben támasztott követelményeket. A meghatározó éghajlati változók szárazföldi paramétereinek csoportjában (Essential Climate Variables, ECV) a felszínhőmérséklet is megjelenik (Land Surface Temperature, LST). A nemzetközi munkacsoport jelentése megerősíti, hogy az éghajlati rendszer működésének jobb megértéséhez a hagyományosnak mondható változók körét ki kell bővíteni (WMO, 2016). A műholdas távérzékelés lehetővé teszi a rendszeres méréseket és az adatok közzétételét, amelyet az éghajlati rendszer változásainak felismerése, azok esetleges befolyásolásának lehetősége is sürget (*Loriani et al*., 2025).

A felszínhőmérséklet MODIS LST távérzékeléssel mért adatai és az ERA5-Land „Skin Temperature" (SKT) reanalízis adatai hasonló értékeket és emelkedő tendenciát mutatnak a 2001-2020 időszakra: 0,26-0,34 °C/évtized a szárazföldek átlagában és 0,62-0,63 °C/évtized Európában (*Wang et al*., 2022). Az antropogén eredetű üvegházhatású gázok okozta pozitív sugárzási kényszer mellett a felszínhőmérséklet emelkedéséhez hozzájárulhatnak a felszínen, a tájhasználatban bekövetkezett változások is (több a burkolt felület, több az épület, megnőtt az energiát elnyelő felület). Az ERA5-Land sugárzás adatainak vizsgálata megerősíti, hogy Magyarországon a nettó rövidhullámú sugárzási energia éves mennyisége 1981és 2020 között, 40 év alatt mintegy 200 MJ/m^2-el nőtt. Ez a többlet rövidhullámú sugárzási energia párolgási vízegyenértékre átszámítva mintegy 80 mm, azaz 2 mm-nyi éves növekménynek felel meg 40 év alatt (*Báder* és *Szilágyi*, 2023). A nettó hosszúhullámú sugárzás közben alig változott. A felszíni energiamérlegben ez a többlet a látens hő, illetve a szenzibilis hő értékére is kihat.

Felmerül a kérdés, hogy miért növekedett Magyarországon az ERA5-Land adatok alapján kimutatott nettó rövidhullámú sugárzási energia mennyisége? Az üveghatású gázokkal foglalkozó kutatások mellett figyelemet érdemelnek az energiamérleggel és a felszínhőmérséklet változásaival kapcsolatos egyébb összefüggések is. A légkör tetejét érő energia mennyisége közel állandó, amelynek egy része – a világűr felé visszavert rövidhullámú sugárzás – nem vesz részt a felszíni és légköri energiacserélő folyamatokban. Ez a planetáris albedó csökkenő trendet mutat az ezredforduló óta, amelynek oka elsősorban a felhő-albedó csökkenése. A Föld felszíne így több rövidhullámú energiát nyel el, ami hozzájárulhat annak melegedéséhez (*Nikolov* and *Zeller*, 2024). Megerősítik a műholdak által mért adatok kiértékelésének eredményét a Földnek a Holdról visszaverődő fényét mérő vizsgálatok. A planetáris albedó csökkenésének az energiamérlegre gyakorolt hatását a Big Bear "Földfény" program 1998-2017 közötti mérései alapján 0,5 W/m^2-re becsülik (*Goode et al*., 2021).

A Föld felszíni folyamatainak megfigyelésére egyedülálló lehetőség, hogy két MODIS műszereket hordozó műhold (a Terra és az Aqua) folyamatos működésének köszönhetően az egész bolygót lefedő több mint 26 éves távérzékelési adatsor áll rendelkezésünkre. A NASA 1999. december 18-án bocsátotta fel a Föld Megfigyelő Rendszer (Earth Observing System, EOS) részét képviselő Terra műholdat, fedélzetén a MODIS szenzorokkal (MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, közepes felbontású képalkotó spektroradiométer). A műhold 36 mérési sávban készít felvételeket, háromféle felbontásban: 250 m (1-2. frekvenciasáv), 500 m (3-7. frekvenciasáv), illetve 1000 m (8-36. frekvenciasáv). Később, 2002. május 4-én állították pályára a hasonló műszerezettségű Aqua műholdat. A műholdak a tervezett működési idejük alatt napszinkron pályán keringtek 705 km magasságban, keringési idejük 98,8 perc, a pálya dőlésszöge 98,2°. Nappal a Terra leszálló pályán északról délre 10:30 kor, az Aqua felszálló pályán, délről északra 13:30-kor halad át az egyenlítőn, éjszaka pedig 22:30-kor, illetve 01:30-kor. Összesen tehát egy napra maximálisan 4 mérés érhető el egy pontban. Magyarország felett a műholdak naponta kétszer haladnak át és készítenek felvételeket egy 2330 km széles sávban. Az egész Földet lefedő felvételek adatai egy

36x18 méretű rácshálózatban kerülnek eltárolásra, amelynek minden rácspontjához egy 1200x1200 pontból álló csempe tartozik (1 km-es felbontás esetén). Magyarország adatai a h19v04 jelű csempén találhatók. A műholdak által készített felvételeket NASA szakértő csoportok (földfelszín, óceán, atmoszféra és kalibrációs csoport) dolgozzák fel és a mért adatokból állítják elő a különböző „termékeket". Minden „termék" – a továbbiakban produktum – több mérési sáv azonos időben készült adatait és más M*D produktumok eredményét is felhasználhatja (A M*D jelölés a Terra /MOD/ és Aqua /MYD/ műholdra egyszerre utal.).

A Föld felszínét elemző csoport állítja elő a M*D11 jelzésű felszínhőmérséklet és emisszivitás adatokat (*Wan et. al*, 2021). Elérhető és letölthető az „Algoritmus Elméleti Alapdokumentum" (Algorithm Theoretical Basis Document, ATBD), amely a változók kiszámításának fizikai alapjait és módszertanát írja le (*Wan* and *Li*, 1997; *MODIS ATBD*, 1999). A felszínhőmérséklet számítása a távérzékelésben elterjedt „split window" (osztott ablak) módszer alapján történik. Az algoritmus azon alapszik, hogy két egymáshoz közeli infravörös hullámhosszon a műszerek a légköri gázok különböző sugárzáselnyelését érzékelik. A felszín hőmérséklete a Planck-függvény segítségével a csatornák valamilyen lineáris kombinációjaként becsülhető meg néhány további paraméter segítségével. A M*D11 produktumoknak jelenleg a MODIS Collection 6.1 verziója érhető el, amely az eredeti mért műholdas alapadatok finomított, újraszámított változata [**1**]. A módosítások a bemenő alapadatok javítása és szűrése alapján készültek (például vízfelületek, felhőborítottság maszkja) az összegyűlt visszajelzések és tapasztalatok alapján. A validációk szerint a tipikus LST pontosság ±1 °C, de inhomogén területek esetén elérheti a ±2–3 °C-ot (*Wan*, 2014). A M*D11 produktum részletes leírását a felhasználói kézikönyv tartalmazza (*MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide*, 2014). A továbbiakban „felszínhőmérséklet adat" kifejezést olyan értelemben használjuk, hogy az az algoritmus szerint kiszámolt eredményt jelenti (nem műszerrel közvetlenül mért adatot).

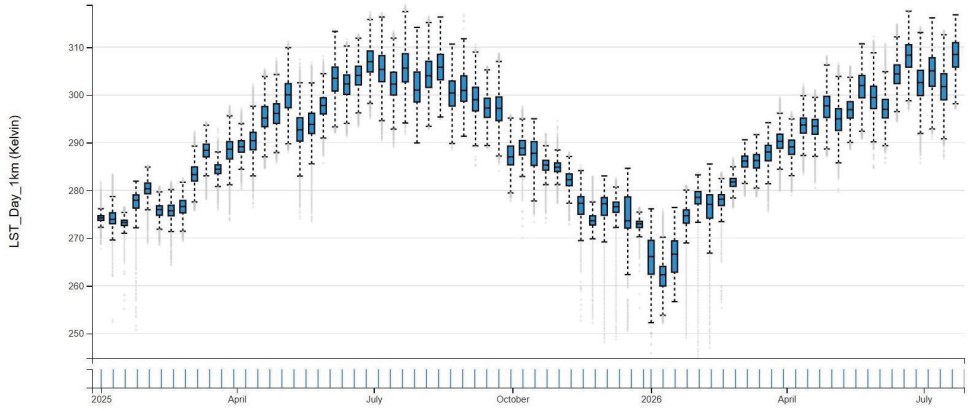
A MODIS felszínhőmérséklet a kutatásokban az egyik leggyakrabban használt adat/változó. Előnye, hogy átmenetet képez a nagyobb térbeli felbontású, időben ritkábban készülő, és a kisebb felbontású, de időben gyakoribb műholdas adatok között (*Phan* and *Kappas*, 2018). Az adatok 2000-től 2025-ig több feldolgozási szinten érhetők el, a M*D11 családon belül külön jelöléssel rendelkeznek, és számos alkalmazási lehetőséget jelentenek. Jelen tanulmányban a MOD11A2 adatait használjuk, amely térbeli felbontásban a legjobb (1 km, egész pontosan 926,6 m), időbeli felbontása pedig még személyi számítógépen kezelhető mennyiségű – mintegy 60 GB – adatot jelent. A MOD11A2 a Terra műhold délelőtti 10:30-as átvonulásának a MOD11A1 produktum adataiból készült nyolc napos felszínhőmérséklet átlagértékét adja meg. A felszínhőmérséklet műholdas méréséhez tiszta égbolt szükséges. A MOD11A1/MYD11A1 1 km-es felbontású produktumok napi adatainak vizsgálata szerint a Közép-Európát lefedő 4 csempe esetén (h18v03, h18v04, h19v03, h19v04) felhőborítottság miatt az adatok átlagosan 61,4%-a hiányzik (*Metz et al*., 2017). A délelőtti átvonulás esetén az adathiány kisebb, 58,3%, a délutáni átvonulás esetén nagyobb, 64,1%. A délelőtti Terra műhold átvonulásakor 5,8%-kal több a felhőtlen cella, mint a délutáni Aqua műhold esetében, ezért használjuk a jelen munkában a MOD11A2 adatait. A hivatkozott tanulmányban a 2003-2016-as időszakban készült 20456 db csempe adatmennyisége 384 GB, amelyben a szerzőknek a hiányzó adatok 68%-át sikerült szűréssel és interpolációs eljárásokkal pótolni. A MOD11A2 esetében ezt a jelentős ráfordítást igénylő pótlást a 8 napos átlagolás miatt nem kell elvégezni, mint a MOD11A1-nél. A MOD11A2 produktum 1 km-es felszínhőmérsékleti adatait ezért már több alkalommal felhasználtuk a párolgás komplementáris módszerével, meteorológiai adatok alapján készült 10 km-es felbontású magyarországi párolgástérképek leskálázásához (*Szilágyi* és *Kovács*, 2011; *Báder* és *Szilágyi*, 2023; *Szilágyi et al*., 2025).

Jelen tanulmány célja, hogy bemutassa a 25 éves MODIS LST adatsorát Magyarországra, a 2001-2025 időszak alatt az éves felszínhőmérsékletben kimutatható változásokat, és ösztönözze a klímaváltozás kutatásában az ok-okozat kapcsolatok vizsgálatát. Az adatok értékelése további kutatást igényel (felszínborítás szerinti szegmentálás, helyi tematikus elemzések, trendek, korrelációk elemzése stb.).

Anyag és módszer

A MODIS felszínhőmérséklet adatok letöltése

A MODIS műholdak adatai a NASA és az USGS internetes oldalain regisztrálás után ingyenesen hozzáférhetők. A munkában a MOD11A2 produktum 2000-2025 időszakára elérhető, a Terra műhold nyolcnapos átlagait tartalmazó h19v04 csempéjének LST_day_1 km adatait használtuk fel, a továbbiakban MODIS LST néven



1. ábra. A MOD11A2 termék felszínhőmérséklet adatai 2025-ben Magyarországra, Kelvin fokban. Minden dobozdiagram a rácspontok napi LST_Day_1km felszínhőmérséklet adataiból képzett nyolc napos átlag eloszlását mutatja be. Az AppEERS alkalmazással, WGS84 shape állománnyal kijelölt területre készült.

hivatkozva. Egy év adatai 46 adatállományt jelentenek, amelyek egész szám formátumban, szinuszoidális koordináta rendszerben vannak megadva. 2023-ig az adatokat a [**1**] oldalról, regisztrálás és a termék kiválasztása után elérhető ftp tárhelyről töltöttük le HDF formátumban. A 2024 utáni adatok már a NASA által a távérzékelési adatok használatának megkönnyítésére fejlesztett új felhasználói felületről lettek letöltve, de az egységes feldolgozás érdekében az ftp oldallal megegyező adatformátumban. Az elemzésre kész minták kinyerésére készült alkalmazás (Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples, AppEERS) sokkal kényelmesebbé és gyorsabbá teszi az adatok letöltését és 2024 októberétől a korábbi Earth Science Data Systems (ESDS) Program valamennyi szolgáltatását fokozatosan átveszi (*AppEEARS Team*, 2026). Az AppEERS alkalmazás nagy előnye, hogy olyan sokszöggel körülhatárolt, vagy vektoros állománnyal megadott terület adatait is egy lépésben le lehet tölteni, amelyek több csempén találhatóak. A NASA szárazföldi folyamatok adatait kezelő archívum katalógusa alapján több más műhold adatai is elérhetőek többféle formátumban: Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) [**2**] .

Módszer

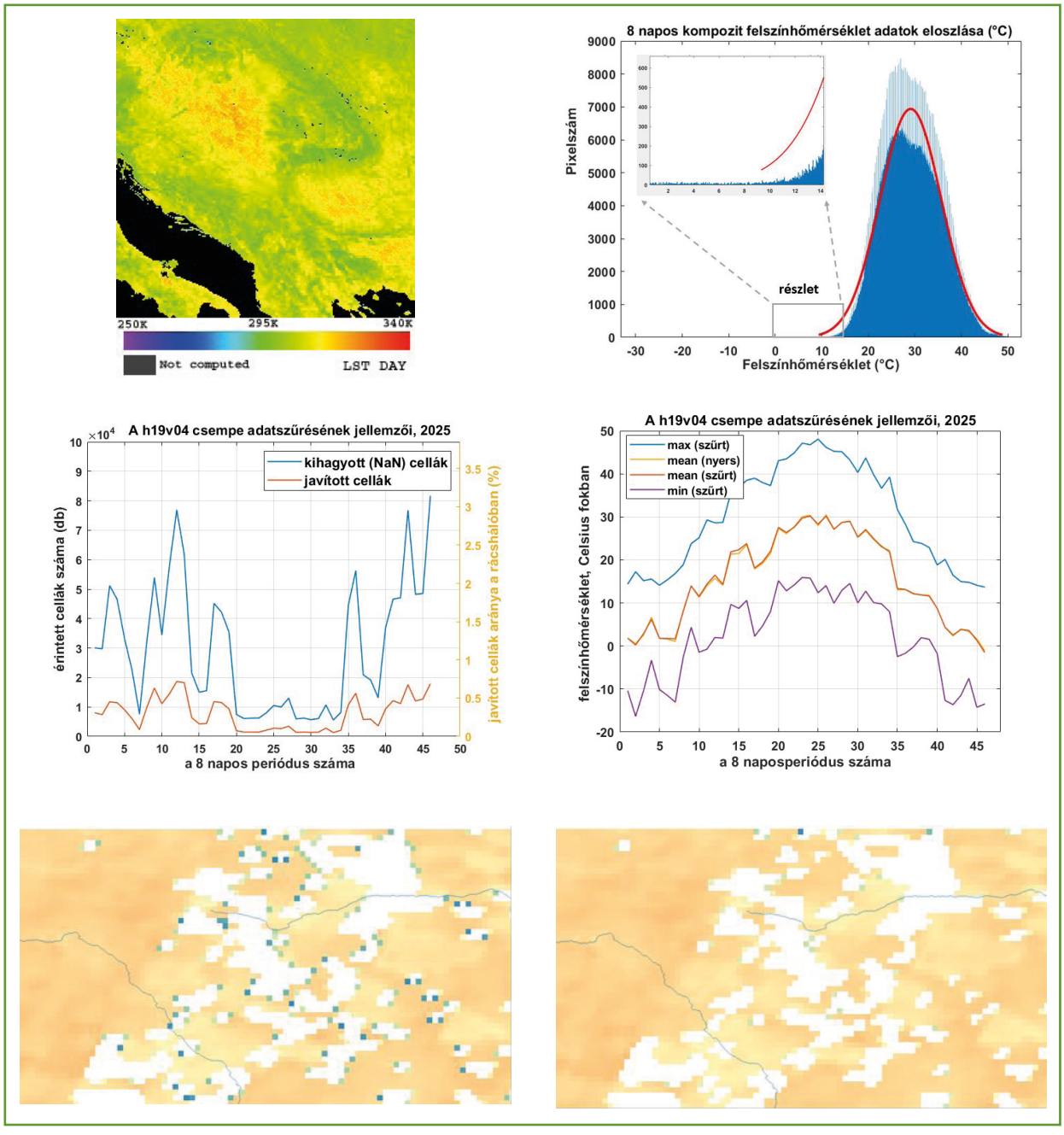
Az adatszerkezet és a feldolgozás főbb lépései jól áttekinthetők az AppEERS alkalmazással letöltött adatok bemutatásával (*1. ábra*). A MOD11A2 a Terra műhold délelőtt 10:30-as átvonulásainak napi MOD11A1 adataiból, a 8 napos periódusok felhőtlen napjainak átlagaiból készült pixelenként, ezért jóval kevesebb hiányzó adatot tartalmaz, mint az egyes napok adatai. Abban a rácspontban ahol nincs legalább két átlagoláshoz felhasználható felhőtlen nap, ott nincs adat. Az átlagolás után a kompozit MOD11A2 még tartalmaz olyan adatot, ahol a nem egyértelműen felhős cellák befolyásolhatják az eredményt. A MODIS LST adatokkal együtt letölthető QC (adatminőség) adatok szerint a nyári félévben a pixelek 0-1,5%, a téli időszakban ennél nagyobb arányban is további vizsgálatot igényelhetnek felhasználás előtt.

A felszínhőmérséklet térképek elkészítése 26 évre, 2000-től 2025-ig minden évre és minden hónapra a következő lépésekből állt:

1. A h19v04 csempe adatainak letöltése (szinuszoidális vetület, HDF formátumban)
2. Vetületváltás WGS84-re HEG konverter segítségével (HDF-EOS to GeoTIFF, HEG), [**3**].
3. Értelmezési tartomány szerinti lehatárolás
4. Számábrázolás változtatása, Kelvinre majd Celsius fokra váltás, tisztítás
5. A csempék 8 napos kompozit adataiból havi adatok készítése

Egy csempe nyers felszínhőmérséklet adatairól ad áttekintést az LP DAAC felületről letöltött jpg ikon (*2a. ábra*). A vetület megváltoztatását követő lépésben a -33 °C foknál kisebb értékeket „nincs adat” értékre állítottuk az „Algoritmus Elméleti Alapdokumentum” ajánlása alapján (felhős cellában a műhold a felhőtető hidegebb hőmérsékletét méri, nem a felszínét, így az kihagyandó).

A lehatárolás után még mindig maradhatnak olyan fátyolfelhővel, ködfolttal befolyásolt, zajos cellaértékek az adatok között, amelyet nem sikerült eddig egyértelműen kiszűrni. Ezek azonosítására megvizsgáltuk az adatok Gauss eloszlását a csempe minden 8 napos periódusa esetében. A 3-szigma



2. ábra. A MOD11A2 termék h19v04 csempe felszínhőmérséklet adatainak szűrése és javítása a 2022-ben, júliusban készült 25. csempe példáján. a) Az LP DAAC oldalról letöltött csempe ikonja szinuszoid koordináta rendszerben, Kelvin fokban. A sötétebb foltok jelzik a kiugró értékeket. b) Egy júniusi csempe értékeinek eloszlása (részlet). A piros Gauss görbe alatti értékek megtartva, a kisebb valószínűségű feltehetően szennyezettek (függőleges tengely: gyakoriság, vízszintes tengely: Celsius fok). c) Az eloszlás alapján javított cellák és a hiányzó vagy határértéken aluli értékek aránya 2025 csempéin. d) A csempék javítás utáni legkisebb-, közép-, és legnagyobb értékei; a javítások hatása a csempékre. e) Javítás előtti csempén kék és zöld színnel látszanak a vélhetően felhősültséggel érintett kiugró adatok. f) Javítás után a kiugró értékek a környező értelmezhető rácspontok adataira, vagy „nincs adat" értékre vannak cserélve (kivéve a csempe szélső adatsorait).

értékeknél kisebb gyakoriságú cellák értékét statisztikailag kiugró értéknek tekintettük, amelyet feltételezhetően a teljesen tiszta égbolt hiánya okoz, és az érték javításra szorul (*2b. ábra*). A példa szerinti 2022-ben a 25. csempe adataiban (a július 12-19. közötti 8 napos periódusban) a felszínhőmérséklet adatainak egy kis hányada a csempére meghatározott 9,34 °C határérték alá esik, amelyeket zajos értékeknek tekinthetünk. Minden csempe esetében más a kiszámolt határérték, januárban például -14,94 °C volt az év 3. csempéjének a január 17-24. közötti határértéke. A kiugró értékek javításához a szomszédos cellák értékét vizsgáltuk meg, és azoknak az átlagával javítottuk az értéket. Ahol a szomszédos cellák között sem volt határérték feletti felszínhőmérséklet, akkor „nincs adat" értéket állítottunk be. A javítható cellák aránya kb. 0,5% volt, az így sem javítható cellák aránya nyáron kb. 1,5%-nak, más időszakokban 3-8%-nak adódott (*2c. ábra*). A fenti algoritmussal javított felszínhőmérséklet adatok csempénkénti átlagain és a felszínhőmérséklet éves lefutásán a javítás nem okoz számottevő változást, a nyers és szűrt adatok középértéke alig különbözik (*2d. ábra*). A térképes megjelenítésen a kiugró értékek foltjai jól látszanak (*2e. ábra*), de tisztítás után számuk lecsökkent, és csak az egyértelműen felhősnek minősített cellák „nincs adat" értéke látható fehér foltként (*2f. ábra*).

A Kárpát-medencét magába foglaló h19v04 csempe letöltött 8 napos kompozit adatainak feldolgozása után az évi 46 db adatállományból készültek az éves átlagok, valamint (a hónapra eső három vagy négy kompozit adatsor átlagolásával) a havi átlagok, majd azokból a trendelemzések. A bemutatott eredmények ábrázolása MATLAB-ban történt, de a térképek közvetlen GIS rendszerben felhasználható formában és jpg formában is elkészültek.

Eredmények

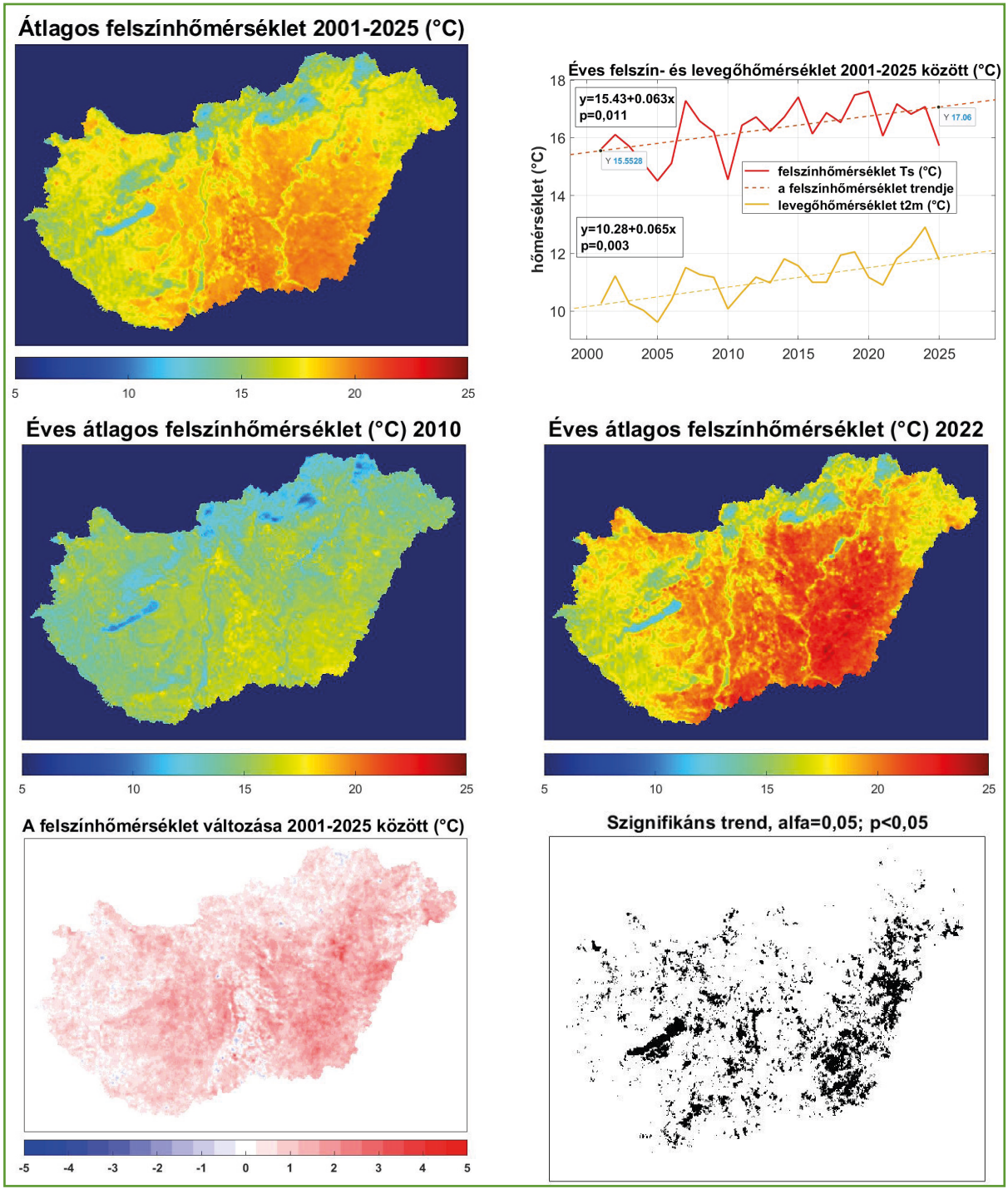
Magyarország felszínhőmérsékletének éves adatai a 2001-2025 időszakban

A felszínhőmérséklet sokéves átlaga Magyarországon a 2001-2025 években 16,31 °C volt, amelynek a térbeli eloszlását az 1 km-es felbontású térkép mutatja be (*3a. ábra*). Az évenkénti országos átlagok alapján számítottuk a trendet (*3b. ábra*). A 2000. évben még nem volt januárra adat, ezért az éves összesítés 2001-től kezdődik. A 25 éves időszak alatt 1,5 °C-kal nőtt a felszínhőmérséklet Magyarországon, trendje 0,63±0,15 °C/évtized. A Mann-Kendall teszt alapján végzett trendelemzésben választott szignifikanciaszintnél ($\alpha = 0,05$) a számolt p-érték kisebb ($p = 0,011$), ezért a felszínhőmérséklet éves átlagának változása nem tekinthető véletlen ingadozásnak, szignifikáns növekedést jelent. A csapadékos, és 2005 után a leghidegebb 2010-es év, valamint a melegebb, aszályos 2022-as év átlagos felszínhőmérsékletének térképein az egyes évek közötti eltérések jól láthatók (*3c., 3d. ábra*). A vizsgált időszakban bekövetkezett változásokat rácspontonként is megvizsgáltuk, amelynek eredménye alapján az ország területének nagy részén növekedett a felszínhőmérséklet (*3e. ábra*). A változások statisztikai vizsgálata szerinti szignifikáns növekedés az ország délkeleti részén a leggyakoribb (*3f. ábra*).

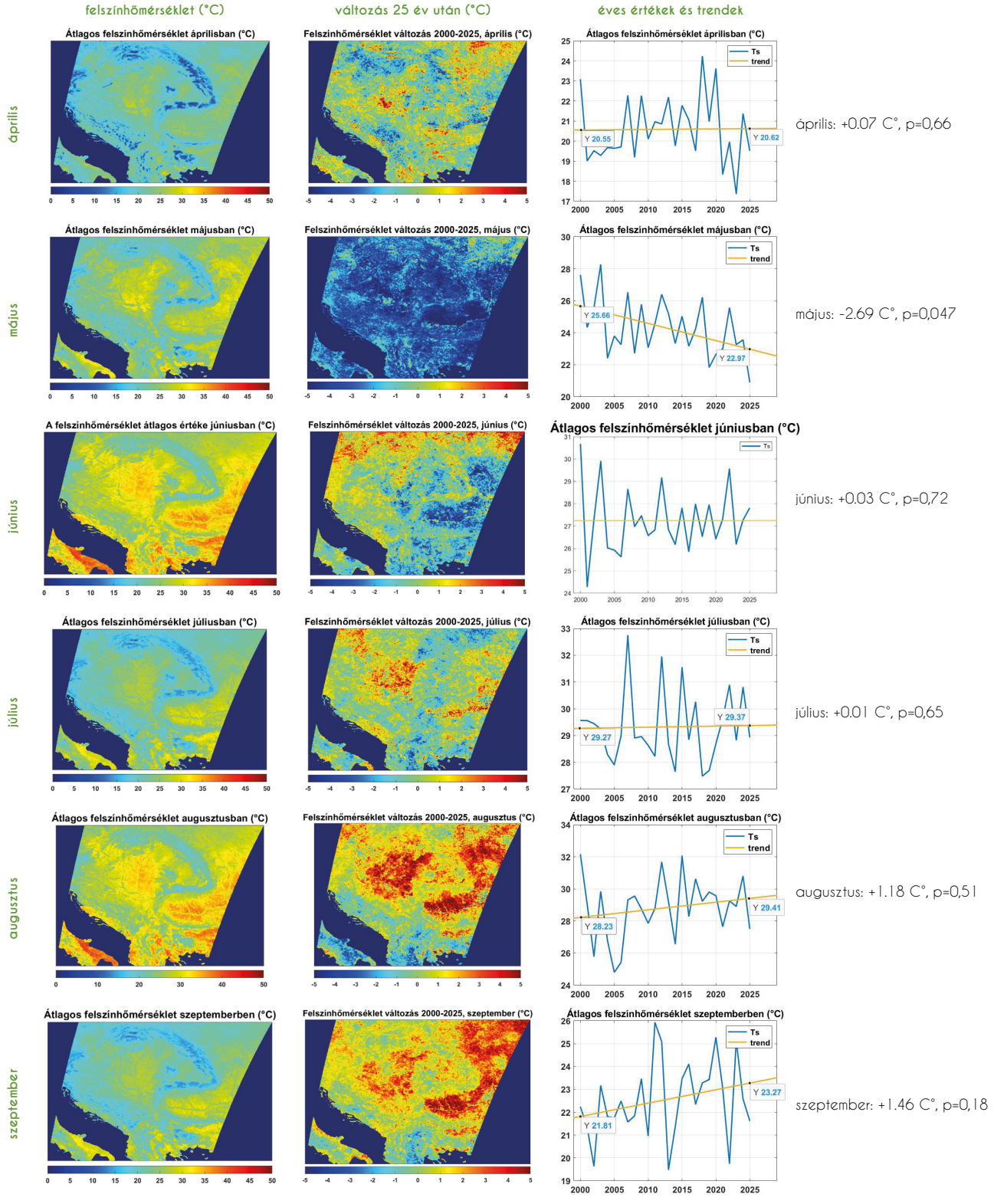
A felszínhőmérséklet havi adatai a Kárpát-medence térségében 2000-2025 között

A h19v04 MODIS csempe a teljes Kárpát-medencét magába foglalja. A nettó sugárzás a nyári hónapokban a legnagyobb, a felszínhőmérséklet emelkedése is ezt az ívet követi az egész térségben. A havi adatokat a teljes csempére, lehatárolás nélkül mutatjuk be a *4. ábrán*.

Az eredeti szinuszoidális vetületben készült felvételek miatt a csempe WGS84 koordináta-rendszerre váltása után a térkép „ferde" (a bal felső és jobb alsó területek hiányoznak), de a teljes Kárpát-medence látszik, a Kárpátok vonulata jól felismerhető. A nyári félév elején, májusban csökkent a felszínhőmérséklet (-2,69 °C), augusztusban és szeptemberben emelkedett (+1,18, illetve +1,46 °C). A változás Mann-Kendall teszttel vizsgálva a csempe teljes területén csak májusban szignifikáns. Júniusban és júliusban nem mutat a felszínhőmérséklet változása trendet, azonban jelentős különbségek láthatók az egyes területek között. Magyarország területére lehatárolva nagyobb a felmelegedés nyáron: júliusban +2,2 °C, augusztusban +2,14 °C, majd szeptemberben +1,66 °C volt a felszín melegedése. Az 1 km-es felbontású térképek lehetővé tesznek más területi elemzéseket is: például augusztusban a Nagyalföld, Vajdaság, Havasalföld, Moldva felszínhőmérséklete jelentősen megemelkedett. Terjedelmi okokból nem térünk ki további esetekre.



3. ábra. Magyarország felszínhőmérséklete a MOD11A2 adatok alapján 2001 és 2025 között 1 km-es felbontásban, Celsius fokban a MODIS Terra műhold 10:30-as nappali mérései alapján. a) a felszínhőmérséklet sokéves átlagának területi eloszlása (Celsius fokban). b) a felszínhőmérséklet éves átlagai és trendvonala (0,63 ±0,15 °C/évtized, Mann-Kendall teszt p = 0,011), valamint az éves levegőhőmérséklet és trendvonala (p=0,003. Forrás: KSH.15.1.1.37. Magyarország és Budapest időjárásának adatai [4]. Mindkettő szignifikáns. c) a csapadékos 2010-es év átlagos felszínhőmérséklete rácspontonként. d) az aszályos 2022-es év átlagos felszínhőmérséklete rácspontonként. e) a felszínhőmérséklet éves átlagának változása Magyarországon 25 év alatt (Celsius fok). f) szignifikáns trend a felszínhőmérséklet változásában, Mann-Kendall teszt, alfa=0,05, p<0,05.



4. ábra. A Kárpát-medencét magába foglaló h19v09 MODIS csempe havi felszínhőmérséklet adatai 1km-es felbontásban a nyári hónapokban a 2000-2025 években, a MOD11A2 termék adatai alapján. Első oszlop: a havi felszínhőmérséklet átlaga rácspontonként. Második oszlop: a hőmérséklet változásának térbeli eloszlása. Harmadik oszlop: a hónap felszínhőmérsékletének átlagai az egyes években, trendvonal (°C) és a teljes időszak alatt bekövetkezett változás.

A távérzékelési adatok és kézi hőkamerával készült felvételek összehasonlítása

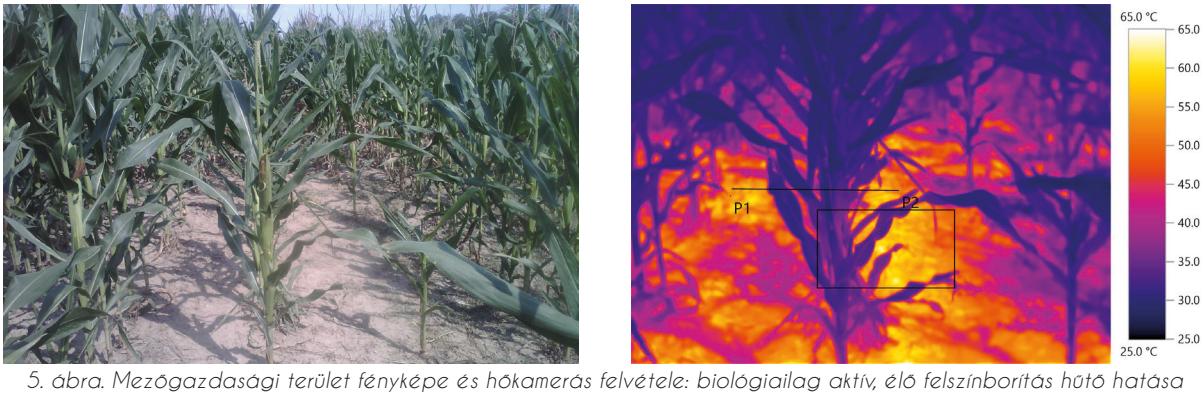
A MODIS LST rácspontok közel egy négyzetkilométeres területéről készült képen átlagos felszínhőmérsékletet látunk. Egy több száz hektáros homogén felszínborítású területre jellemző lehet egy rácspont adata. Fontos azonban megjegyezni, hogy kisebb területek változatossága nem látható. A felszíni folyamatok dinamikája nagyobb felbontású műholdas, repülőgépes, drónos mérések mellett a kézi hőkamerák, hőmérők alkalmazásával tehető láthatóvá (beépített terület, mezőgazdasági terület, erdő stb.). Az átlagolás megtévesztő hatása ilyen mérésekkel csökkenthető és azonosíthatók azok a túlmelegedett területek, ahol beavatkozásra lehet szükség, vagy káros következményekkel kell számolni. Egy részben növénnyel borított felület példáján a felszínborítás hatása bemutatható (*5a. ábra*). A vizsgált kukoricatábla felszínének átlaghőmérséklete 45 °C volt 2024. július 28.-án, délután 3 órakor, szélcsendes időben, 37 °C levegőhőmérséklet mellett. A hőkamerás kép hisztogramjának elemzése szerint a levelek átlaghőmérséklete 34 °C, a csupasz, áthevült talaj átlaghőmérséklete 56 °C volt (*5b. ábra*). A biológiailag aktív, élő felszínborítás hűtő hatása mérhető és érezhető, a két felület átlaghőmérséklete közötti különbség 22 °C. Részletesebb vizsgálatok igazolják, hogy a sűrű növényzettel borított területen a felszínhőmérséklet és levegőhőmérséklet közötti különbség is kisebb (*Good et al*., 2017).

Diszkusszió

A 1 km-es felbontású MODIS LST adatok alapján a felszínhőmérséklet Magyarországon 2001-2025 között 15,55 °C-ról 17,06 °C-ra nőtt, a változás értéke 0,63 ±0.15 °C/évtized. A növekedés összhangban van a levegő-hőmérséklet melegedésével. Magyarországra a HungaroMet levegő-hőmérséklet adatai és a MODIS LST adatai közötti korrelációs együttható értéke r=0,768, a determinációs együttható R^2=0,589.

A felszínhőmérséklet adatok pontossága hatással lehet a kimutatott trendekre és összefüggésekre. A MODIS LST szakértői csoport validálása szerint a felszínhőmérséklet napi adataiban az eltérés jellemzően kevesebb mint, ±0.5 K (*Wan*, 2014). Ennél több, 2-3 K is lehet a felhőfoltokkal érintett pixelekben. A 8 napos kompozit MOD11A2 adatok esetében a felszínhőmérséklet a rendelkezésre álló MOD11A1 napi adatok egyszerű számtani átlaga, azonos súllyal, QC szűrés nélkül. A kompozit QC értékét a napi QC adatok legtöbbször előforduló értéke alapján állítják elő pixelenként (nem pedig az egyes QC biteket feldolgozva). Az *1. ábrán* bemutatott felszínhőmérséklet adatokhoz tartozó QC adatok szerint az ellenőrzésre javasolt pixelek száma a téli félévben 1% körül van, és az átlagos hiba 2 K alatt marad. A nyári félévben ennél kisebb a pixelszám. A pixelértékek hisztogramjának elemzése után a QC bitek szerinti elemzés és javítás helyett a pixelértékek eloszlása szerinti szűrést alkalmaztuk az értéktartomány alsó sávjában. Az adatok Gauss eloszlása alapján a 3-szigma értékeknél kisebb gyakoriságú cellák értékét javítottuk. Az így kezelt pixelek közül mintegy 0,5% „nincs adat” értékre lett állítva és néhány százalék a szomszédos cellák értékei alapján javított pixelek száma. A tisztítás mértéke télen nagyobb, nyáron kevesebb, de arányaiban csekély az összhatása (lásd *2d. ábra*) és szinkronban van az ATBD dokumentumban leírt QC arányokkal.

A havi átlagok számításához a 8 napos kompozit adatokból négynek az átlagából képeztük a havi átlagot, kivéve áprilist és októbert, amikor csak három 8 napos periódus kezdő napja esik a hónapra. Szökőévekben



5. ábra. Mezőgazdasági terület fényképe és hőkamerás felvétele: biológiailag aktív, élő felszínborítás hűtő hatása (Tura, 2024. július 18., Báder László felvétele Testo 852 hőkamerával). a) Kukoricás fényképe közelről; b) a hőképen a levélfelületek átlaghőmérséklete 34 °C, a csupasz talaj átlaghőmérséklete 56 °C. A két felület közötti hőmérséklet-különbség 22 °C.

a háromtagú átlagolás májusra, illetve novemberre tolódott. A változás hatással lehet szökőévekben a két-két érintett hónap átlagára, de a trendeket bemutató ábrákat elemezve nem látható kiugró eltérés, ezért részletesebb hatáselemzésre nem került sor.

Az adatminőséget befolyásolhatja a műhold pályájának változása is. A Terra műhold tervezett élettartama 6 év volt. A NASA 2000 és 2020 között végrehajtotta a szükséges pályakorrekciókat és az folyamatosan pályáján haladva működött. Az üzemanyagkészlet kifogyása után sodródni kezdett, alacsonyabb pályára került és az egyenlítőn korábban halad át (a kezdeti 10:30 helyett 2022-ben már 10:15-kor) és azóta tovább sodródott. A korábbi áthaladáskor a feszínhőmérséklet még alacsonyabb, a kimutatott hőmérséklet emelkedési tendencia ezért magasabb is lehet.

Kitekintés, oktatás- és szakpolitikai ajánlások

Ha a környezet nem képes a táj hűtéséhez szükséges vizet biztosítani (jelentős mennyiségű éghajlati energiát párolgással elszállítani), akkor táji méretű hőszigetek alakulnak ki (*Báder*, 2021). A folyamat messze nyúló és hosszan tartó következményekkel járhat, gyakoribbá válnak a vízhiányos, aszályos időszakok, szélsőségesebbé válik az időjárás (*Schlesinger* and *Jasechko*, 2014; *Putnam* and *Broeckner*, 2017). Az éghajlatváltozás kedvezőtlenül hat a vízmérlegünkre (*Báder*, 2023), felértékelődik a vízvisszatartás, a megfelelő tájhasználat és takarónövények alkalmazása, a kék-zöld infrastruktúra jelentősége. A magasabb felszínhőmérsékletű mesterséges felületeken vagy kiszáradt talajon a párolgás kisebb, mint a növénytakaróval védett területeken, több hő marad a tájban. Erősödnek az intenzív tájhasználat következményei ott, ahol a biológiailag aktív, élő felszínborítás hűtő hatása nem érvényesül megfelelően. Ilyen a helyzet az ipartelepek, csupasz nagytáblás monokultúrás mezőgazdasági területek, erdők vágásterületei esetében. A táj, mint integrált önszabályozó rendszer megfelelő felszínborítás mellett képes a felszínhőmérséklet növekedésének korlátozására, a szélsőséges helyzetek előfordulásának csökkentésére.

Az oktatás minden szintjén tanítják azt, hogy a felszínről kiindulva alulról melegszik fel a levegő. Ez az általános iskolától kezdve a középiskolákig (ahol földrajzból érettségi tétel), az egyetemi oktatásban és a kutatásban is az alapok között szerepel [**5**], [**6**], [**7**], [**8**]. A felszínhőmérséklet emelkedésével egyre csökken a párolgás hűtésének hatékonysága (*Szilágyi et al*., 2024). Hiánypótló, stratégiai jelentőségű feladattá vált az oktatásban a növények klímaszabályozó szerepét, a tágabb összefüggéseket megismertetni (*Ryplová et al*., 2022). A klímaváltozás elleni hatékonyabb fellépéshez hozzájárulhat:

- A felszínhőmérséklet adatok könnyebb elérhetősége és további kutatások ösztönzése (részletesebb adatok, szegmentálás tájhasználat szerint, összefüggések elemzése stb.);
- A felszínhőmérséklet, mint meghatározó éghajlati változó rendszeresítése a Meteorológiai Világszervezet GCOS (Global Climate Observing System) munkaanyaga szerint;
- Az éghajlati rendszer oktatásának fejlesztése, a növények szerepének tudatosítása.

A környezettudomány minden területén (természeti-, gazdasági- és épített környezet) és minden ágazat számára lehetővé kell tenni, hogy a felszínhőmérséklet növekedésének a korlátozásával alakítsák tevékenységüket és hozzájáruljanak a környezeti folyamatok fenntarthatóságához.

További információ: A feldolgozott MODIS LST adatok regisztráció után ingyenesen elérhetők a weben [**9**].

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük NASA LP-DAAC adatközpontjának a MODIS adatokhoz való ingyenes hozzáférést. A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta, valamint a kutatás az Európai Regionális Fejlesztési Alap (ERFA) finanszírozásával a Széchenyi Terv Plusz részeként, a Környezeti és Energiahatékonysági Operatív Program "Megújuló adatokra támaszkodó, ökoszisztéma-szolgáltatás alapú zöldinfrastruktúra-fejlesztések stratégiai tervezésének megalapozása" című projekt keretében valósult meg (KEHOP PLUSZ-3.2.2-24-2024-00002).

Köszönjük a szerkesztőnek a kézirat gondozását és az ismeretlen bírálóknak az értékes észrevételeiket és javaslataikat, amivel hozzájárultak a cikk végleges formájához.

Irodalom

Báder, L., 2021: A párolgás szerepe és a "Táji hőszigetek" hatása az éghajlati energia- és vízmérlegre. *Légkör* 66.,16-21.

Báder, L., 2023: Magyarország vízmérlege és az éghajlatváltozás. Hidrológiai Közlöny 2023 1., 4-16. https://doi.org/10.59258/HK.10410

Báder, L. & *Szilágyi, J*., 2023: Widening Gap of Land Evaporation to Reference Evapotranspiration Implies Increasing Vulnerability to Droughts in Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 67, 1028-1037. https://doi.org/10.3311/PPci.21836

Báder, L, Szilágyi, J., Négyesi, K., Nagy, E., Földváry, L., 2023: Changes and trends in the climatic water balance of the danube river basin based on meteorological, hydrological, and gravimetric data for the period 1961-2020. *HydroCarpath Conference*, 9. https://doi.org/10.35511/978-963-334-505-4

Báder, L., 2025: Climatic Energy Balance Diagram depicts Changes in the Water Cycle in the Danube-basin. EWRA 2025 - XIII World Congress of the European Water Resources Association, Palermo. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16931.16162

Báder, L., 2026: Surface Energy Balance of the Danube Region: Assessment of changes between 1961-1990 and 1991-2020 using General Systems Theory and Climatic Energy Balance Diagram. *Science of Climate Change*. Vol. 6.2. pp. 32-36 https://doi.org/10.53234/scc202603/21

Eiseltová, M., Pokorný, J., Hesslerová, P., Ripl, W., 2012: Evapotranspiration – A Driving Force in Landscape Sustainability, *In: Evaporation – Remote Sensing and Modelling. Ayse Irmak, IntechOpen*. https://doi.org/10.5772/19441

Good, E. J., Aldred, F. M., Ghent, D. J., Veal, K. L., and *Jimenez, C.,* 2017: An analysis of the stability and trends in the LST_cci Land Surface Temperature datasets over Europe. *Earth and Space Science*, 9, https://doi.org/10.1029/2022EA002317

Goode, P. R., Pallé, E., Shoumko, A.,Shoumko, S., Montañes-Rodriguez,P., and *Koonin, S. E.,* 2021: Earth'salbedo 1998–2017 as measured from earthshine. *Geophysical ResearchLetters*, 48, https://doi.org/10.1029/2021GL094888

IPCC, 2019: Technical Summary, SPM_Updated-Jan20. Ed: Shukla et al. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes. https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/technical-summary

Metz, M., Andreo, V., and *Neteler, M.,* 2017. A New Fully Gap-Free Time Series of Land Surface Temperature from MODIS LST Data. *Remote Sensing*, 9(12), 1333. https://doi.org/10.3390/rs9121333

MODIS ATBD, 1999: https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod11.pdf

MODIS User Guide, 2014: Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide Version 6.1), https://www.icess.ucsb.edu/modis/LstUsrGuide/MODIS_LST_products_Users_guide_Collection-6.pdf

Orth, R., 2021: When the landsurface shifts gears. *AGU Advances*, 2. https://doi.org/10.1029/2021AV000414

Schlesinger, W. H., and *Jasechko, S*., 2014: Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189–190, 115–117. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.011

Szilágyi, J. and *Kovács, Á.,* 2011: A calibration-free evapotranspiration mapping technique for spatially-distributed regional-scale hydrologic modeling. Hydrol. Hydromech., 59, 118–130 doi:10.2478/v10098-011-0010-z

Szilágyi J., Báder L. és *Józsa J.,* (2025). A területi párolgás havi értékeinek becslése2000 és 2022 között Magyarországon kilométeres felbontásban. *Hidrológiai Közlöny* 105. 3, 4-12. https://doi.org/10.59258/hk.20549

Szilágyi, J., Zhang, Y., Ma, N., Crago, R. D., Qualls, R.J. and *Jozsa, J.,* 2024: Diminishing control of evaporation on rising land surface temperature of the Earth. *Communications Earth & Environment* 5, 613. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01796-8

Metz, M., Andreo, V., and *Neteler, M.,* 2017: A New Fully Gap-Free Time Series of Land Surface Temperature from MODIS LST Data. Remote Sensing, 9(12), 1333. https://doi.org/10.3390/rs9121333

Nikolov, N. and *Zeller, K. F.,* 2024: Roles of Earth's Albedo Variations and Top-of-the-Atmosphere Energy Imbalance in Recent Warming: New Insights from Satellite and Surface Observations. *Geomatics*, 4, 311–341. https://doi.org/10.3390/ geomatics4030017

Phan, T, and *Kappas, M*., 2018: Application of MODIS land surface temperature data: a systematic literature review and analysis *Journal of Applied Remote Sensing* 12(04) 1, https://doi.org/10.1117/1.jrs.12.041501

Putnam, A. and *Broecker, W.,* 2017 „Human-induced changes in the distribution of rainfall" *Science Advances*. 3. https://doi.org/ 10.1126/sciadv.1600871.

Ryplová, R., Broer, Y., Hesslerová, P., 2022: Plant Literacy Teacher's Handbook, https://planteducation.eu/project-results/plant-literacy-teachers-handbook

S. Loriani, A,. Bartsch, E,. Calamita, J. F., Donges, S., Hebden, M., Hirota, A., Landolfi, T., Nagler, B., Sakschewski, A., Staal,·J., Verbesselt, R., Winkelmann, R,. Wood, N., Wunderling, 2025: Monitoring the Multiple Stages of Climate Tipping Systems from Space: Do the GCOS Essential Climate Variables Meet the Needs? *Surveys in Geophysics* 46, 327–374 https://doi.org/10.1007/s10712-024-09866-4

Wan, Z. and *Li, Z.-L*., 1997: "A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data", IEEE Trans. Geosci. *Remote Sens*., v35, n4, pp. 980-996.

Wan, Z., 2014, New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product: Remote *Sensing of Environment*, v. 140, p. 36-45, accessed February 8, 2016. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.027

Wan, Z., Hook, S., and *Hulley, G*., 2021: MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V061 [Data set]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.061 Date Accessed: 2026-04-02

Wang, Y. R., Hessen, D. O., Samset, B. H. and *Stordal, F.*, 2022 Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data, *Remote Sensing of Environment*, 280. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181

WMO, 2016: The Global Observing System for Climate: Implementation Needs. Implementation Plan pp. 202-205. (Ed. Belward et al.) *World Meteorological Organization*. https://library.wmo.int/idurl/4/55469

Internetes hivatkozások

[1]: https://ofi.oh.gov.hu/sites/default/files/attachments/termeszetismeret_6_1.pdf

[2]: https://erettsegi.org/a-levego-felmelegedese.html

[3]: https://www.eltereader.hu/media/2014/05/Meteorologiai_alapismeretek_READER.pdf

[4]: https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/transfer-of-heat-energy

[5]: https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2009/02_Kern_Metnap2009.pdf

[6]: https://www.earthdata.nasa.gov/learn/data-in-ac/modis-land-surface-temperature-version-comparisons-appeears

[**7**]: https://www.eltereader.hu/media/2014/05/Meteorologiai_alapismeretek_READER.pdf

[**8**]: https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/transfer-of-heat-energy

[***9***]: https://figshare.com/doi.org/10.6084/m9.figshare.30074032



A légkör nyomása - A meteorológusok D-napi háborúja az 1944 június 6-i partraszálláskor

Horváth Ákos
HungaroMet Nonprofit Zrt., horvath.a@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2026.3.4

A II. Világháború, és az egész modern történelem sorsdöntő eseménye volt a nyugati szövetségesek 1944-es normadiai partraszállása. A hadművelet 350 000 ember és korábban még soha nem látott hadianyag és hadfelszerelés percre pontosan megtervezett bevetését jelentette. Két nappal az offenzíva megkezdése előtt már csak egyetlen nyitott kérdés maradt: az időjárás. Annak a néhány meteorológusnak a véleményén múlott a történelmi ütközet megindulása, akik mai szakmai szemmel nézve szinte lehetetlen elvárással álltak szemben, egymás között is eltérően látva az atlanti partok hektikus időjárását.

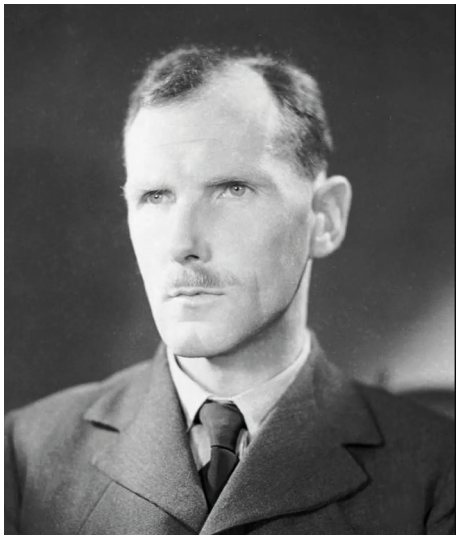
The pressure of the air-The meteorologists' battle on D-Day Normandy landings, 6 June 1944

The Allied landings in Normandy in 1944 were a pivotal event of World War II and modern history. The operation entailed the deployment—planned with extreme high precision—of 350,000 troops and an unprecedented volume of military hardware and equipment. Two days before the offensive was set to begin, only one open question remained: the weather. The launch of this historic battle hinged on the judgment of a handful of meteorologists who—viewed from today's professional perspective—faced a nearly impossible task, as they held conflicting views regarding the volatile weather conditions along the Atlantic coast.

1944 június elején minden készen állt a történelem addigi legösszetettebb tengeri-szárazföldi hadműveletére, a normandiai partraszállásra. Több mint 350 000 katona és egy hatalmas flotta várta a szövetségesek tábornokának, Dwight D. Eisenhowernek a parancsát az indulásra. Az árapály és a holdvilág viszonyai alapján június 5-re tűzték ki a partraszállás napját, a D-napot. A hadművelet során egyetlen bizonytalanság maradt: a térségben rendkívül gyorsan változó időjárás. A szövetségesek főmeteorológusának, a skót James Stagg ezredesnek kellett eldöntenie, hogy alkalmasak lesznek-e az időjárási körülmények a történelmet eldöntő hadművelet megindítására (*1. ábra*). Stagg ezredes munkáját három különálló meteorológuscsoport támogatta, akik nem voltak közös álláspontón, Eisenhower pedig türelmetlenül várta a művelet indulását eldöntő időjárás-előrejelzést…

A D-napra alkalmas időablak

Normandia partjainál nagyon erős az árapály jelensége. A haditengerészet szempontja az volt, hogy az alacsony vízállás, tehát az erős apály lenne alkalmas a németek által telepített víz alatti aknák és akadályok



1. ábra. James Stagg ezredes a D-nap főmeteorológusa. (forrás: Imperial War Museum Collections)

hatástalanítására. A szárazföldi csapatok parancsnokai ezzel szemben az erős dagályt pártolták a mielőbbi partrajutás érdekében, hogy a nyílt vízen ne legyenek hosszasan kitéve a parti ütegek tüzének. Végül az a megoldás született, hogy a támadást az apály utáni első órákra, vagyis az emelkedő vízszintre időzítették. Ráadásul a partraszállásra kijelölt öt normandiai partszakasz (Utah, Omaha, Gold, Juno, Sword) morfológiai sajátosságai miatt az árapály szintje és ideje szakaszonként eltért, amit ugyancsak figyelembe vettek a tervezésnél. Az egyes partszakaszokon a támadást ezért eltérő időpontokban kezdték meg.

A holdfény jelentősége

A partraszállást megelőző éjszakán jelentős ejtőernyős egységeket dobtak az ellenséges vonalak mögé, amihez későn kelő, de az éjszaka második felét jól bevilágító holdfényre volt szükség. A fenti feltételek alapján egy szűk időintervallum, június 5., 6. és 7. jöhetett számításba. A következő időszak a dagály szempontjából június 17-e lett volna, azonban ekkor a holdvilág feltétele nem teljesült.

A szövetségesek partraszállási szándékával a németek is tisztában voltak, de annak tervezett időpontját és a helyét a nyugatiak sikeresen titokban tartották. Ilyen nagy haderő esetén azonban ezt egyre nehezebb volt megtartani, mint ahogy ennyi katona és technikai eszköz készenlétben tartása is rendkívüli feladatnak számított. A június 5-7 időszak tehát nem csak optimális, de szükséges is volt a nyugati front megnyitására.

A hadművelet megkezdésére már csak egyetlen bizonytalanság maradt: az időjárás.

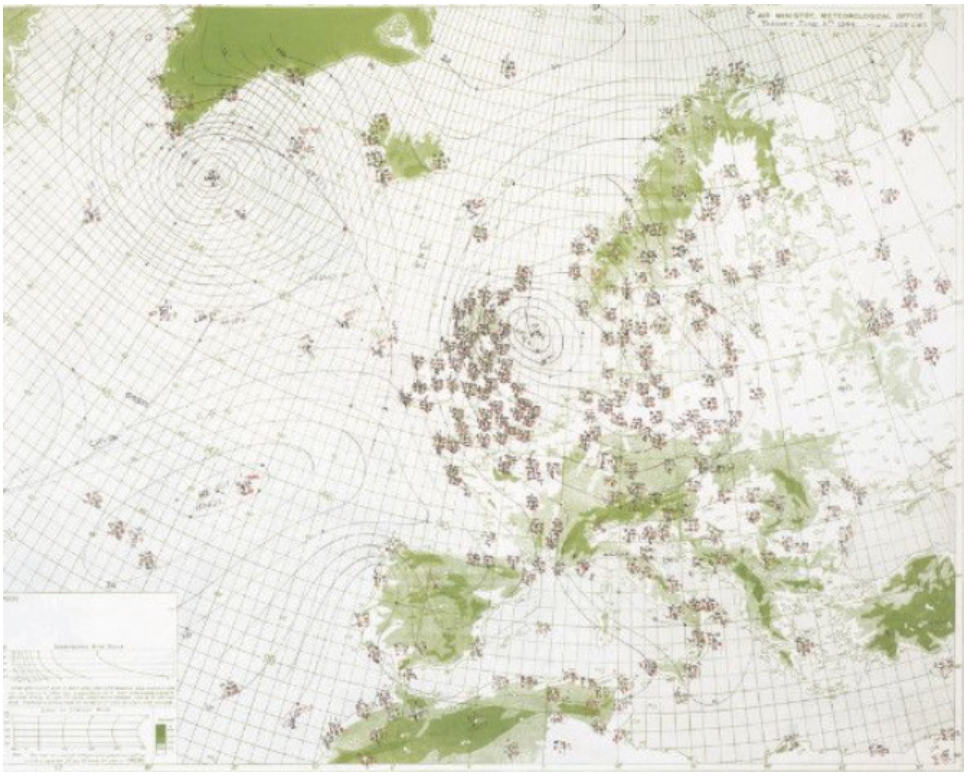
Időjárási adatok

A légköri folyamatok leírásának legalapvetőbb feltétele az elegendő mennyiségű és minőségű mérési adat. Stagg ezredes munkáját segítő meteorológusok ilyen szempontból jobb helyzetben voltak, mint a németek, mivel Normandia időjárását meghatározó atlanti-óceáni térségből több mérésük volt (*2. ábra*). A németek sem voltak teljesen információ hiányban, mivel tengeralattjáróiknak kimondott feladata volt a rendszeres időjárási észlelések és mérések készítése (*3. ábra*). A tengeralattjárókról küldött meteorológiai jelentések a légnyomást, a léghőmérsékletet, a szélirányt és szélsebességet, a felhőzetet, a vízhőmérsékletet és a mérés helyzetét tartalmazták. Ezenkívül a németeknek időnként sikerült lehallgatniuk az amerikaiak időjárás-jelentéseit is. A szövetségesek viszont ekkorra már vissza tudták fejteni az ellenség tengeralattjárói által is használt Enigma-kódolást, így saját méréseiken kívül a németek adatait is felhasználhatták. A szövetségesek a megszállt kontinensről is kaptak időjárási adatokat, igaz, csak nagyon szórványosan, főként rádióadások lehallgatásával, illetve felderítő repülések során, néha az ellenállás segítségével. Az angolszász meteorológusok ugyancsak kaptak rendszeres mérési adatokat a semleges Írországból, amely a D-nap szempontjából döntő jelentőséggel bírt.

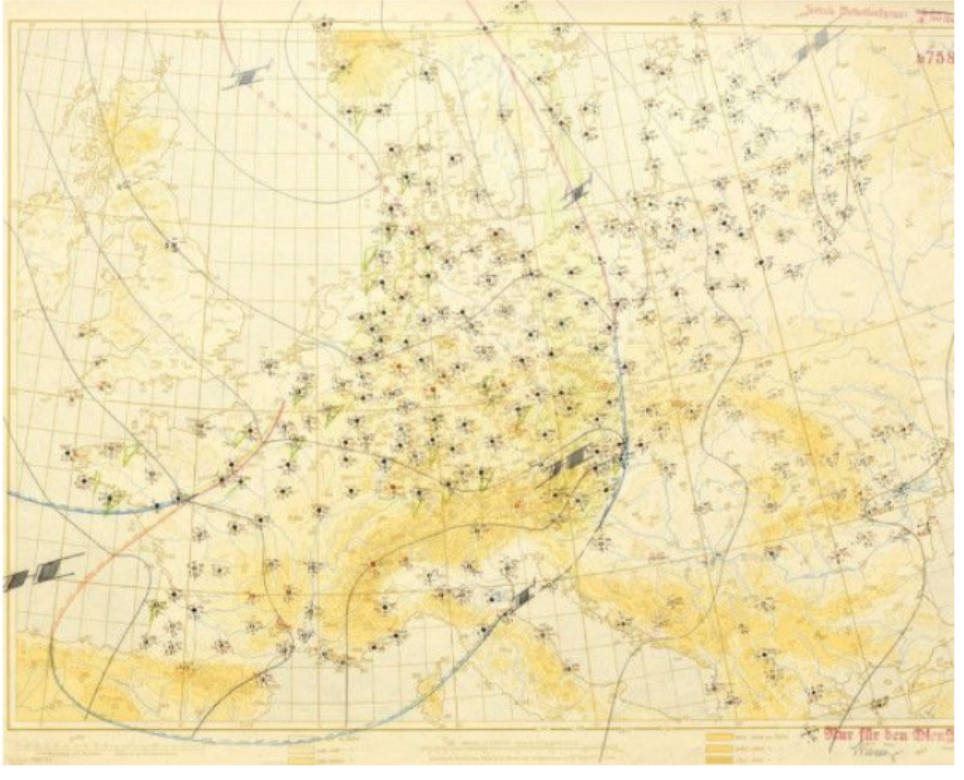
A mérések és megfigyelések térbeli felbontása azonban nem tette lehetővé, hogy pontos képet lehessen kirajzolni még a nagyskálájú légköri objektumokról, azaz a ciklonokról és anticiklonokról sem. Az időjárási térképek készítéséhez így szükség volt a meteorológusok tapasztalatára és a fizikai folyamatok ismeretére ahhoz, hogy megrajzolják azokat a területeket is a térképeken, ahonnan egyáltalán nem volt információjuk. Bár a Brit-szigetekről volt elegendő adat, az időjárás-jelentésnek legalább 48 órára előre kellett szólnia. A gyorsan változó időjárású atlanti területeken ennél jóval nagyobb térségről volt szükséges pontos információ.

A szövetségesek: meteorológusok és módszereik

A D-napi partraszállás időjárási előrejelzését három független meteorológus csoport támogatta: a brit meteorológiai szolgálat (Met Office), a brit haditengerészet (Admiralitás) és az amerikai légierő szakemberei. A három csoport munkáját az angol haditengerészet ezredese, James Stagg fogta össze. A precíz, skót származású vezető meteorológusnak június 3-ról 4-re virradóan arról kellett döntenie, hogy a támadás tervezett napján, június 5-én megfelelő lesz-e az idő.



2. ábra. A szövetségesek szinoptikus térképe június 6-án. (Forrás: Met Office publication: D-Day)



3. ábra. A németek szinoptikus térképe június 6-án. (Forrás: Met Office publication: D-Day)



4. ábra. Irving P. Krick a D-napon az Amerikai Haditengerészet meteorológusa. (forrás: Wikipedia)

Az amerikai csoport vezetője, Irving P. Krick, egyfajta analógiás módszer alapján dolgozott (*4. ábra*). Úgy gondolta, hogy az egyes nagytérségű időjárási helyzetek – ciklonok és anticiklonok egymáshoz viszonyított elhelyezkedése – egyértelműen meghatározza a rákövetkező napok légköri állapotát. Vagyis, ha elegendően sok ismert időjárási helyzetünk van a múltból, akkor az adott helyzethez a múltban legjobban hasonló, valamint az arra rákövetkező szituációt kell tekinteni. Eljárásához 40 éves adatsort használt. Ez a megközelítés a napjainkban feltörekvő mesterséges intelligencia-alapú modellek távoli előzményének is tekinthető. Maga Krick egyszerre képviselte a sikeres és hangos amerikai üzletembert, valamint a meteorológus feltaláló személyét, aki a hosszú távú előrejelzéstől a mesterséges csapadékkeltésig sok mindennel foglalkozott, illetve azokból üzleti alapon próbált profitot szerezni. Szakmai háttere viszont kétségtelenül erős volt: a California Institute of Technology (Caltech) egyetemen szerzett doktori munkájában Kármán Tódor, magyar származású tudós, a nagy sebességű áramlások elméletének a kidolgozója is segítette. Krick a módszere alapján arra jutott, hogy az Azori-anticiklon felépülése nyomán június 5-én nyugodt, a partraszállásnak tökéletesen megfelelő idő lesz.

A britek más véleményen voltak. Ők a légköri mozgások mögötti fizikai (dinamikus meteorológiai) folyamatokat próbálták keresni és azon az álláspontonvoltak, hogy már két napra is csak jelentős bizonytalansággal lehet előrejelzést készíteni. Ennek a megközelítésnek a képviselője a meteorológia tudományában akkor már jól ismert norvég Sverre Petterssen volt, aki a két angol szakértői csoport közül a Met Office-t képviselte (*5. ábra*). Petterssen a híres norvég meteorológiai iskola képviselője volt, aki az Egyesült Államokba utazott és először ugyancsak a Caltech, majd az MIT-n (Massachusetts Institute of Technology) volt professzor. Addigra már két alapműve is megjelent, "Időjárási analízis és előrejelzés" és "Bevezetés a meteorológiába" címmel. Mikor értesült hazájának német lerohanásáról, szolgálatait felajánlva a Met Office háborús erőfeszítéseit segítette és Angliába költözött. Petterssen a rendelkezésre álló észak-atlanti adatok alapján egy Skócia felett kimélyülő ciklon hidegfrontja nyomán viharos szelet és csapadékot várt június 5-re, ami a partraszállást lehetetlenné tette volna.

A brit haditengerészet is Petterssen álláspontját támogatta, így Stagg június 3-án negatív véleménnyel ment Eisenhower-hez az 5-re tervezett partraszállást illetően. Stagg prognózisa egyáltalán nem tetszett a vezérkarnak, különösen Montgomery tábornok ellenezte a halasztást. A feszült légkörű megbeszélésen azonban Eisenhower ellenállt, és az időjárás jelentést elfogadva 24 órás halasztás mellett döntött.

Június 5-én a Skóciai feletti centrumú ciklon hidegfrontja valóban megérkezett a térségbe. A viharos szél 4 m magas hullámokat keltett, ami katasztrófába sodorta volna a műveletet. Az alacsony felhőalap, illetve az eső a légi támogatást, illetve az ejtőernyős



5. ábra. Serre Petterssen norvég meteorológus az UK. Met Office szolgálatában. (forrás: Imperial War Museum Collections)

támadást hiúsította volna meg. Stagg ezredes előrejelzése és Eisenhower erre alapozott döntése a biztos kudarctól mentette meg a szövetségeseket.

A következő kérdés az volt, hogy a front átvonulása után kitisztul-e az idő és gyengül-e a szél, így a június 6-i támadást meg lehet-e kísérelni? Erről június 4-én estig ismét dönteni kellett. A meteorológiai kérdés az volt, hogy az Atlanti-óceán felől jövő újabb ciklon előtt fel tud-e épülni egy átmeneti magasnyomású gerinc -amit az Azori-anticiklonként jelöltek a térképeken- és lesz-e egy időjárási ablak a manőverhez. Az amerikaiak és az Admiralitás meteorológusai inkább ezt valószínűsítették, míg a Met Office-t képviselő Petterssen a fennmaradó erős szélre számított. A változást a délután bejövő írországi, illetve az észak-atlanti térségben lévő hajókról jövő jelentések hozták. Az ott mért légnyomás emelkedés a következő vihar érkezése előtt egy kb. 36 órás kevésbé felhős és mérsékelten szeles időablakot ígért. Így június 4-én este Stagg azzal mehetett Eisenhowerhez és vezérkarához, hogy bár nem ideális, de várhatóan kezelhető lesz az időjárás június 6-án.

A másik oldal

A francia partoknál állomásozó német csapatok parancsnoka Ervin Rommel volt és törzsének Heinz Lettau őrnagy volt a főmeteorológusa. Lettau ugyancsak kiváló szakember volt, egyetemi habilitációs munkáját a híres fizikus Heisenberg felügyelte. Lettau és munkatársai számára a kontinensről több mérés állt rendelkezésre, mint a szövetségeseknek, azonban kevesebbet tudtak az óceán feletti időjárási viszonyokról. Analíziseik jók voltak, tisztán látták az érkező viharokat, azonban kevésbé láthatták a részleteket, így a június 6-i átmeneti magasnyomást sem. A vezérkarban az az általános nézet alakult ki, hogy a viharos időjárás napokig eltart, nem kell tartani a szövetségesek jelentős hadműveleteitől. Ennek ismeretében Rommel pár nap szabadságot kért és kapott Hitlertől. A terület beosztott parancsnokai is "lazítottak", egy törzsvezetési gyakorlatra elhagyták posztjukat. A rossz időjárás miatt ráadásul még néhány járőr hajót sem küldtek ki a tengerre. Utólagos értékelések szerint a németek időjárási analízisei és előrejelzései pontosak voltak, arra viszont nem számítottak, hogy ilyen bizonytalan időjárási körülmények között a szövetségesek bevállalják az offenzívát. Vannak olyan vélemények is, hogy míg a szövetségeseknél három független előrejelző csoport is dolgozott és Stagg ezredesnek egyfajta ensemble előrejelzés volt a birtokában, addig a német Lettaunak csak egyetlen vezérfonala volt, amely az "egyértelműen rossz idő" irányába mutatott. Az állandó nyomás alatt lévő Rommel és a többi főtiszt is szeretett volna pár nap kikapcsolódást, így örültek a várható nyugalomnak, nem akarták még az előrejelzés bizonytalanságát is meghallgatni. Lettau ezt megérthette, nem akadékoskodott…

A partraszállás időjárási körülményei

A partraszállás konkrét időjárási helyzetéről több ellentmondó adat is napvilágot látott. A feljegyzések abban megegyeznek, hogy június 6-án lényegesen kedvezőbb volt az időjárás az előző napokhoz képest: egyfajta lecsengő posztfrontális helyzet alakult ki. A reggeli órákban még erősen felhős volt az ég alacsony felhőalappal, ami megnehezítette a támogató légierő feladatát. Az északnyugati szél mindenütt élénk volt, de kevés helyen fordultak elő erős széllökések. Ez bizonyos fokig segítette a tüzérség dolgát, mivel a robbanások füstjét elfújva ismét láthatóvá tette a célpontot. Az egyes partszakaszokon meglehetősen különbözött az időjárás, a nyugati szakaszokon volt kevesebb a felhő. Később csökkent a felhőzet, valószínűleg az átvonuló gomolyfelhőkből lehetett kisebb zápor, a szél is északira fordult, ami posztfrontális konvergencia vonal átvonulására utal. Összességében a légköri viszonyok 6-án nehezítették, de nem akadályozták a partraszállást, és másnap sem okoztak problémát a további utánpótlás partra juttatása során.

A hullámzás viszont számottevő volt, és a becsült 1 m körüli legmagasabb hullámokat meglehetősen nehezen küzdötték le a kisméretű partraszálló járművek: némelyek el is süllyedtek. Az LCVP (Landing Craft, Vehicle, Personnel) volt a legfontosabb partraszálló kétéltűnek nevezhető jármű, amelyet nem



6. ábra. LCVP (Landing Craft, Vehicle, Personnel) volt a legfontosabb partraszálló, amely leginkább ki volt téve a hullámoknak. (forrás: Imperial War Museum Collections)

a nagyobb hullámokra terveztek (*6. ábra*). Egy új harci eszközről volt szó, amellyel kapcsolatban még kevés volt a tapasztalat, így nem egyértelmű, hogy az ilyen jellegű veszteségekben mekkora szerepe volt az időjárásnak. A támadó gyalogság legnagyobb része ilyen eszközökkel sikeresen érte el a partot.

Az időjárási helyzet legfőbb kárvallottjai a június 5-ről 6-ra éjszaka indult légideszantosok voltak. Az ejtőernyősöket és a csapatszállító vitorlázó gépeket vontató repülőgépek pilótái csak nagyon nehezen tudtak tájékozódni az alacsony felhőalap miatt, a vastag felhőzet legtöbb helyen a holdat is eltakarta. Így a légideszantosok egy része szétszóródott és jelentős volt a veszteség is.

A D-nap végére mind az öt partszakaszon sikerült áttörni az atlanti-falat, Európában megnyílt a nyugati front, és folyamatosan özönlöttek be a szövetséges csapatok. Tizenegy hónappal később véget ért a II. világháború.

Nyomás alatt

Valószínűleg a meteorológia történetében még senki nem volt olyan nehéz döntés előtt, mint Stagg ezredes. Ha az eredetileg tervezett június 5-i támadásra vonatkozóan elfogadja az amerikai meteorológus Krick határozott álláspontját, akkor katasztrófával végződött volna a partraszállás, és lehet, hogy a történelem más irányt vett volna. (Egy ilyen alternatív történelmi lehetőségről szól az angol Robert Harris "Fatherland" című regénye.) Ugyanakkor egyáltalán nem lehetett biztos Petterssen véleményében sem, mint ahogy maga Petterssen is tisztán látta a helyzet bizonytalanságát. Bár az egész hadműveletért Eisenhower volt a felelős, de az ő végső parancsa mégis a meteorológus véleményétől függött. Eisenhower maga is óriási nyomás alatt volt, türelmetlen tábornokai és a harckészültségben lévő 350 000 katona csak az ő parancsára várt. A túloldali kollégájával a német Lettau őrnaggyal szemben viszont Stagg ezredes ellenállt a nyomásnak. Eisenhower tábornok a halasztás, majd a támadás döntésekor is hallgatott a meteorológus véleményére.

Szakmai szempontból a legnagyobb összecsapás a Krick által magabiztosan képviselt analógiás módszer és Petterssen időjárási analízise között volt, amelyek június 5-re vonatkozóan gyökeresen eltérő következtetésekre jutottak. Hat évvel később a Petterssen által képviselt irányzat folytatásaként a fizikai meteorológia eszközeivel és Neumann János közreműködésével elkészült az első számítógépes időjárás előrejelzés. A folyamatok természetét leíró numerikus modellezés azóta alapeszköz lett a meteorológiai előrejelzésekben. A Krick-féle tanuló anyagon alapuló összehasonlító módszer szinte teljesen feledésbe merült. Egészen napjainkig, amikor a mesterséges intelligencia eszközrendszerével - bár meglehetősen eltérő metodikával -, de hamvaiból újraéledni látszik…

Drámai nyomás a színpadon és a filmvásznon

A D-napot megelőző eseményekről több feljegyzés és egy színdarab is született David Haig tollából, ami James Stagg Forecast for Overlord címmel, könyv formájában kiadott visszaemlékezésén alapul. Az Eisenhower dél-angliai főhadiszállásán, a Southwick Houseban játszódó, feszültséggel teli történet címe találóan Pressure (Nyomás). Az írói szabadsággal kissé módosított, de a valóban megtörtént események hangulatát hűen visszaadó darabot nagy sikerrel állították színpadra. A dráma konfliktusa – a „nyomás" – a magabiztos, a bonyolult légkört leegyszerűsítő és sikerorientált Krick, a bizonytalanságot jól ismerő és értő Stagg, valamint a világtörténelem legnagyobb hadműveletének felelősségét vállán viselő Eisenhower között feszül. Stagg alakja a színpadon magába foglalja a valóságban szintén kulcsszerepet játszó Petterssent is.

A 2014-ben Angliában bemutatott darab a hazai közönség előtt sikeres volt. A témára időközben Hollywood is lecsapott, és egy nagyszabású játékfilmet forgattak belőle, amelynek az Egyesült Államokban 2026. május 29-én volt a premierje.

Viharok és a történelem

A viharok számos alkalommal beleszóltak a történelem alakulásába. Ezt az angolok is nagyon jól tudták, hiszen 1588-ban a kor legnagyobb hajóhadát a spanyol II. Fülöp által indított Nagy Armadát szórta szét egy hosszan tartó vihar a Brit-szigetek körül. Ha a spanyolok harcedzett nagy létszámú csapatai sikeresen partra szállnak Angliában, máshogy alakult volna a történelem. Hasonlóan a vihar mentette meg Japánt a mongoloktól, kétszer is. A Kínát elfoglaló Kublaj kán először 1274-ben majd 1281-ben kísérelte meg rettegett lovas csapatait áthajózni Japánba. Azonban mindkét alkalommal egy-egy nagyon erős vihar – az isteni szél, vagy japánul kamikaze – darabokra törte az inváziós erőket szállító hajókat Jóval később, 1970 novemberében Banglades Pakisztántól való elszakadását is a Bhola-ciklon indította el, pontosabban az a politikai feszültség, amelyet a pakisztáni vezetés érzéketlensége és közönye váltott ki a természeti katasztrófa pusztítása után.

A II. világháborúban a D-napot követően 6 hónappal még egyszer kulcsszerep jutott az időjárásnak. Ezúttal a németek vártak egy hosszabb ködös időszakra, amikor a szövetséges légierő nem tudott beavatkozni és az Ardennekben 1944. december 16-án egy utolsó ellentámadással próbálkoztak. (Ez alapján készült "A halál 50 órája" című kultikus amerikai film.) A nyugati szövetségeseket ezúttal egy atlanti térség felől érkező hidegfront segítette ki, amely pár nap után felszakította a ködöt; a német csapatmozgások így láthatóvá váltak, a légierő pedig csapások sorozatával morzsolta fel az ellenséget.

Végül érdemes megjegyezni, hogy a modern meteorológia megszületését is egy pusztító viharhoz lehet kötni. 1854-ben a krími háború során egy markáns légőrvényhez kapcsolódó vihar csapott le az oroszok ellen felvonult angol-francia hajóhadra és számos hadihajót megrongált vagy elsüllyesztett. Az akkori európai mérések utólagos felhasználásával a jól ismert francia csillagász – a Neptunusz felfedezője – Le Verrier kimutatta, hogy a légnyomás- és szélmérések alapján a vihar követhető lett volna. Ennek a gyakorlati felismerésnek nyomán vált Európa szerte rendszeressé az időjárási paraméterek mérése és azok távirati formában történő cseréje, az adatok előrejelzési célú kiértékelése.

Epilógus

Annak az operatív gyakorlatban dolgozó meteorológusnak, aki rendezvények biztosításával foglalkozik, gyakran kell a Stagg ezredeséhez hasonló – de szerencsére nagyságrendekkel kisebb következményekkel járó – döntési helyzeteket felvállalnia. Az alaphelyzet lényegében ugyanaz: különböző szervezetek, rendezők összeállítanak egy programot, legyen az szabadtéri előadás, tömegsport rendezvény, budapesti tűzijáték vagy akár egy űrhajó felbocsátása. Heteken, néha éveken át tartó tervezés és munka eredményét szeretnék sikeresen megvalósítani, és a végén már csak egyetlen, számukra bosszantóan bizonytalan kérdés marad: az időjárás. Éppen a legkritikusabb pillanatokban a végső döntés egy olyan előrejelzéstől függ, amelyben elkerülhetetlenül jelen van a bizonytalanság.

Stagg ezredes katonaként átérezte Eisenhower helyzetét, de mint gyakorló meteorológus értette Krick és Petterssen szakmai érveit is. Napjainkban az operatív törzsekbe delegált szakemberektől is pontosan ezt a fajta híd-szerepet várják el. Mindkét oldalról…

A Balatonnál minden nyáron megrendezik a Balaton-átúszást. A rendezvény során 10 ezer ember indul neki az 5 km szabadvízi távnak, ahol már egy kisebb hullámzás is problémát okozhat, élénk szél esetén pedig sokan feladni kényszerülnek a versenyt. A rendezők száznál több vízi jármű, több száz segítő, hajósok, orvosok, vízi mentők munkáját koordinálják, sok év gyakorlati tapasztalatát beépítve a logisztikába. A "balatoni D-nap" indulása előtt két nappal már csak egyetlen bizonytalan körülmény marad: az időjárás.

A HungaroMet Siófoki Viharjelző Obszervatóriumában az esemény kezdete előtt 48 órával zajló döntéshozó megbeszélésen a hazai meteorológia minden rendelkezésre álló modern eszköze bevetésre kerül. A viharjelző szakemberek már egy héttel előre elemzik a számítógépes modelleket. Pozitív döntés esetén aztán két napon át feszülten követik a légkör legkisebb rezdülését is, hiszen azonnal jelezniük kell, ha az időjárás váratlanul rosszra fordulna. Az elindult rendezvény megállítása már nem egyszerű.

Ahogy Stagg 1944-ben, úgy napjaink meteorológusa is tisztában van azzal, hogy az időjárással vívott játszmában az utolsó lap a légkör kezében van. Legyen szó hadműveletről, Balaton-átúszásról vagy az augusztus 20-i tűzijátékról…

Irodalomjegyzék

J. M. Stagg, 1970: *Forecast for Overlord*. Norton, 1970

Met Office publication: *D-Day - the most important weather forecast in history* (https://www.metoffice.gov.uk/about-us/who-we-are/our-history/met-office-d-day-weather-forecast)

C. Ryan, 1985: *A leghosszabb nap* (Európa Kiadó).

J. R. Fleming, 2004: Sverre Petterssen and the contentious (and momentous) weather forecasts for D-Day. *Endeavour* Vol.28 No.2.

A. Persson, 2020: Right for the Wrong Reason? A New Look at the 6 June 1944 D-Day Forecast by a Neutral Swede Bulletin of the American Meteorological Society Vol. 101. 2020. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0311.1

S. Petterssen, 2001: Weathering the Storm: The D-Day Forecast and the Rise of Modern Meteorology, *Amer. Meteor. Soc*., Boston (Fleming, J.R., ed. 2001). (Petterssen emlékiratainak későbbi angol kiadása)

R. Shaw, R. H., W., 1986: Some Meteorological Aspects of the D-Day Invasion of Europe 6 June 1944: Proceedings of a Symposium 19 May 1984, Fort Ord, California. *Amer. Meteor. Soc*., 170.

https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=2866&hir=Hullamok_%E2%80%93_2020-as_Balaton-atuszas_idojarasi_hattere

ECMWF: D-Day Analyses https://www.ecmwf.int/en/research/projects/era-clim/d-day-analyses



Kiváló társadalmi észlelők világnapi kitüntetése

Tóth Róbert, Kiss Márton, Jákli Imre
HungaroMet Nonprofit Zrt., toth.r@met.hu

A HungaroMet Nonprofit Zrt. folytatja azt a régi hagyományt, hogy a Meteorológiai Világnapon néhány társadalmi csapadékmérőt kitüntet azok közül, akik hosszú ideje pontosan, lelkiismeretesen végzik a meteorológiai megfigyeléseket szerte az országban. Írásunkban bemutatjuk az idén kitüntetett csapadékmérő munkatársakat.

Március 23-án, az idei Meteorológiai Világnapon is kitüntettünk néhány olyan hagyományos csapadékmérő állomást vezető munkatársat, akik hosszú ideje magas színvonalon végzik a rájuk bízott feladatot, ami pontosságot, rendszerességet követel.

Ezzel az írásunkkal is szeretnénk köszönetünket és tiszteletünket kifejezni a díjazottak hasznos, áldozatos munkájáért.

Budapest, Kőbányai Vízmű

A Kőbányai Vízmű csapadékmérő állomás az 1868-ban létrehozott Fővárosi Vízművek Zrt. Budapest X. kerület Ihász u. és Harmat u. mentén elterülő 6 hektáros vízműtelepén található az 1868-70 között épült vastag agyagréteggel fedett, olasz kőművesek által téglából készített víztározó medence feletti füves területen (*1. kép*).

1868-ban az ideiglenes Pesti Vízmű üzembe helyezésével kezdődött meg az intézményes vízellátás Pest területén. A csapadék mérése a Vízműtelepen 1956-ban indult, sokáig az éjjel-nappali műszakban dolgozók, illetve a telepvezetők végezték.

Bitter Sándor 1968-ban költözött a Vízműtelep bérlakásába, először beosztottként, majd telepvezetőként a munkáját is itt végezte (*2. kép*). 2000-ben nyugdíjba vonult. 2019-ben sajnálatosan elhunyt, ezt követően lánya, Bitter Edina, szintén a Vízmű munkatársa és a Vízműtelep bérlakásának lakója folytatja a csapadékmérést (*3. kép*).



1. kép. A Kőbányai Vízműtelepen működő csapadékmérő beton talapzaton.



2. kép. Bitter Sándor a Kőbányai Vízműtelepen működő csapadékmérő állomás észlelője.



3. kép. A hátsó sorban jobbról a második Áldozó István, az Év MET-ÉSZ észlelője, a bal szélen Tóth Tamás észlelőhálózati koordinátor; az első sor jobb szélén áll Bitter Edina társadalmi észlelőnk, míg balról a második Feilné Rácz Ilona kitüntetett szuperészlelőnk.

Emlékezetes volt a Vízműtelepen az 1986/87. évi tél, amikor a sarkkör felől érkező hideg levegő 1987. 01. 10-én Kőbányán is 40-50 cm havat hozott, nagy széllel, hóviharral, –7 °C-os nappali hőmérséklettel. A nagy havazás egész Budapestet megbénította, a járművek alig jártak, sokan síléccel, akadt, akik lóval közlekedtek.

2010. 01. 17-től tartósan megmaradt a hó, január 30-31-én 15-23 cm hó esett. 2010 májusában 174,6 mm csapadék hullott, ami árhullámként megjelent a folyókban is.

2017. április 17-20. között esőzést követően 19-én havaseső is előfordult. 2017.05.03-án 1 óra alatt 21,5 mm zápor, zivatarral borsónyi jég is esett.

Köszönjük szépen a Bitter család valamennyi tagjának, hogy eddig is a „munkatársunk" volt, a csapadék mérését megszerették, s bízunk abban, hogy munkájuk a 158 éve működő vízműtelepen még sokáig folytatódhat.

Bódvaszilas

Bódvaszilas Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyei község, a Gömör-Tornai-karsztvidéken fekszik az Edelényi járásban, az egyik legészakibb hagyományos csapadékmérő állomásunk. Írásban először 1283-ban említik Szilas néven. Mai nevét 1905-ben kapta. 1910-ben 915 lakost számlált, s Abaúj-Torna vármegye tornai járásához tartozott. Népessége 1990-re elérte az 1217 főt, ami azóta csökken, s 2025-re 887-re esett vissza.

A csapadékmérés 1929-ben indult a faluban a Főszolgabírói Hivatalnál, Fruzsy József főszolgabírói hajdú megbízásával. A postahivatalnál folytatódott, mígnem 1985-től a Jókai utcában Fuszkó Józsefné vette át az észlelői munkát.

Fuszkó Józsefné (*4. kép*) a Szendrőhöz tartozó Csehipusztán született, majd családjával Szalonnára költöztek és itt végezte az általános iskolát. Edelénybe járt gimnáziumba, s az érettségi után a volt általános iskolájában kezdett tanítani. A diploma megszerzése előtt Szendrőn és Szinben is tanított. Első főiskolai diplomáját Sárospatakon szerezte, ezután férjével Bódvaszilasra költöztek, ahol a helyi iskolában tanított nyugdíjazásáig. Második diplomáját Nyíregyházán szerezte. Fő szakiránya az informatika, de matematikát is oktatott, vagy azt, amit a helyzet megkívánt. Alsó és felső tagozatosokat egyaránt tanított, és saját osztályt is kapott. Az iskolai oktatás mellett hitoktatóként is tevékenykedett a helyi plébánián.



4. kép. Fuszkó Józsefné a csapadékmérővel.

A csapadékméréssel a jósvafői klímaállomás munkatársain keresztül került kapcsolatba, és 1985-ben vette át a méréseket Tamás István postamestertől. Aggódva kezdte az észlelői feladatot, kétségei voltak, vajon jól végzi-e a mérést. Szerencsére sok segítséget kapott, ennek köszönhetően magával ragadta a feladat. A tanításhoz hasonlóan ebbe a tevékenységbe is sok időt és energiát fektetett, így csapadékmérő hálózatunk biztos tagjává vált az évtizedek során. Bár a katedráról több mint 50 év tanítás után már nyugdíjba vonult, a mi hálózatunkat továbbra is nagy odaadással szolgálja méréseivel és megfigyeléseivel. Önállóan elkezdte bővíteni a megfigyelések körét és feljegyzéseket készít a hőmérsékletről, szélről, felhőzetről. Tapasztalatai révén sokszor vont le helyes következtetést az időjárás alakulására vonatkozóan, ami motiválóan hatott rá. Mind a mai napig szívesen figyeli az időjárás jelenségeit, közben próbálja kitalálni, mi következhet ezekből.

Ezúton is köszönjük, hogy a hosszú idő alatt sok értékes méréssel gazdagította az adattárunkat, ami nagyban elősegíti a térség csapadékviszonyainak pontosabb ismeretét. Kívánunk neki jó egészséget és sok boldog nyugdíjas évet 2 lánya családja és 4 unokája körében!

Lövő

Győr-Moson-Sopron vármegyei község a Soproni járásban a Kardos-ér mentén. Első írásos említése 1211-ből való Lvev néven. A tatárjárás után német telepesek költöztek be. A kora középkorban gyepűt őrző lövészek lakták. Lakóinak száma viszonylag állandó, 1910-ben 1420, 1990-ben 1419, 2025-ben 1364 lelket számlált. 1905-ig Német-Lövő volt a falu neve, kis számban ma is élnek itt német és horvát anyanyelvűek.

A településen a csapadékmérés 1934-ben indult, majd a Radnai/Gráczol család folytatja 1956 óta immár 70 éve. Radnai Józsefné és Radnai József észlelt 1991 végéig, amikor lányuk – aki közben Gráczol Imréné lett – vette át. Az ő sajnálatosan kori halála után pedig férje folytatja a munkát 2002-től, aki már addig is besegített a mérésekbe. Imre bácsi könyvelő volt a sopronhorpácsi TSZ-ben, majd banki főelőadó Sopronban, innét is a mai napig tartó precizitása. Egyébként már kisgyerekként is érdeklődéssel figyelte a méréseket, hiszen 1956 előtt, 1934-től kezdődően az iskolában folyt a csapadékmérés, ahol Six-féle hőmérő is volt. Később is hobbiként figyelte az időjárást. Ma 2 lánya, 4 unoka, 2 dédunoka teszi boldoggá napjait, a harmadik dédunoka már úton van. Míg egészsége engedi, folytatja a 70 éve megkezdett munkát, de utódját már kijelölte: Éva lánya fogja folytatni a családi hagyományt,



5. kép. Imre bácsi otthonában a kitüntetéssel.

a csapadékmérést. Köszönjük a család kivételesen hosszú észlelői munkáját, Imre bácsinak jó egészséget kívánunk (*5. kép*)!

Csepreg

Csepreg kisváros Vas vármegyében az Alpokalján, a Répce mentén. Első írásos említése 1255-ből való Chepreg néven. 1390-1886 között mezőváros. A Révai Nagy Lexikona ezt írja róla 1912-ben: „Termékeny vidéken jó bor és gyümölcs terem.” 1950-ig Sopron vármegyéhez tartozott és járási székhely volt járásbírósággal, adóhivatallal és szolgabírói hivatallal. Lakossága fogyóban van: 1910-ben még 4146-an lakták, ami 1990-re 3935, míg 2025-re 3128-ra csökkent. Itt is élnek német és horvát anyanyelvűek. 1995-ben emelték újra városi rangra Csepreget.

Csepregen belül 1951-ben indult a csapadékmérés az általános iskolánál. Fillinger Lajosné Németh Gyöngyvér 1995 áprilisától végez méréseket (*6. kép*). Korábbi kolléganője nyugdíjba vonult, tőle vette át



6. kép. Fillinger Lajosné Németh Gyöngyvér a csapadékmérőjével.

a feladatot, hiszen már korábban is besegített a mérésekben. Ma már ő is nyugdíjas. Előtte a csepregi iskolában dolgozott, műszaki és gyakorlati foglalkozásokat tartott, itt kezdte el érdekelni a meteorológia. A gyakorlókertben nagy hasznát vette a pontos méréseknek, megfigyeléseknek. A mérésekben férje segíti, aki rádióamatőr, a családi házuk kertjében egy rádióantenna is magasodik. Észlelőnk nyugdíjas évei is mozgalmasan telnek: zenekarban ütősként tevékenykedik, de két Martonvásáron élő unokája is gyakran látogatja. Most fő feladata a kisebbik unokával az olvasás gyakorlása, aki első osztályba jár. A napi adatküldést telefonos lekérdezés útján biztosítja. Köszönjük több évtizedes színvonalas munkáját és jó egészséget kívánunk!

Sárbogárd Nagyhörcsökpuszta

Nagyhörcsökpuszta kis település Fejér vármegyében a Sárbogárdi járásban a Sárvíz-malomcsatorna közelében. Közigazgatásilag korábban a mintegy 7 km-re fekvő Kálozhoz tartozott, egy ideje azonban a 11 km távolságra levő Sárbogárd része. A helységnévtáblán Nagyhörcsök olvasható. Lakóinak száma mindössze 120 fő. Legfőbb látnivalója az Annavárnak nevezett Zichy kastély. A település a második világháborúban hadszíntérré vált, hatalmas károkat szenvedett.

Míg Sárbogárdon 1915-ben indult a csapadékmérés, majd 1955-től klímaállomás, 1999-től automata állomás üzemel, Nagyhörcsökpusztán 1975-ben kezdődött klímaadatok mérése Vekerdi Béla (*7. kép*), az Állami Gazdaság könyvelője jóvoltából. Apáról fiúra szállt a csapadékmérés, 1992-ben vette át Vekerdi Tibor s végzi a mai napig. Vekerdi úr dízelmozdony szerelőnek tanult, ám kezdetben a Videotonnál dolgozott hegesztő betanított munkásként. Ott ismerte meg feleségét. Egy felnőtt fiuk Debrecenben él. Vekerdi úr jó ideje Sárbogárdon a MÁV-nál dolgozik, kezdetben mint kocsirendező, majd tolatásvezető munkakörben. Tervezi, hogy év vége felé nyugdíjba vonul, kihasználva, hogy a „tengelyen töltött 20 év” alapján 4 év korkedvezményben részesülhet. Ígérete szerint akkor belefog a napi elektronikus adatküldésbe.

Köszönjük a Vekerdi család 55 éve végzett megfigyelő munkáját, s jó egészséget kívánunk a továbbiakhoz!

Az év MET-ÉSZ észlelője

Áldozó István érdemelte ki idén az Év MET-ÉSZ észlelője elismerést. Áldozó István kisgyerek kora óta Himodon, egy Répce-menti kis faluban él Győr-Moson-Sopron vármegyében. Családtagjai adták az indíttatást, hogy tizenkét éves korától rendszeresen feljegyezze szülőfalujában az időjárási eseményeket. Középiskolásként már végzett észleléseket az OMSZ részére is Illés László egykori előrejelző munkatársunk irányítása mellett. A Pécsi Tudományegyetem földrajz-történelem szakán végzett, jelenleg a Győri Levéltárban dolgozik. Az intézményben őrzik a Bodócs István egykori középiskolai tanár által 1926–1944 között vezetett észlelési naplót. Az ott összegyűjtött adatok felhasználásával Áldozó Istvánnak tudományos publikációi jelentek meg, s több helyszínen is tartott ismeretterjesztő előadást.



7. kép. Vekerdi Tibor a csapadékmérővel és a kitüntetésével.

István kitartóan végzi a főállású munkája mellett a MET-ÉSZ és METADAT adatküldést, az esztendő 365 napján számíthatunk jelentéseire. A kezdetek óta 5173 MET-ÉSZ észlelést adott, amiket munkánk során felhasználunk. Egyúttal ő az egyik legmegbízhatóbb társadalmi csapadékmérőnk is.

A HungaroMet Zrt. mind az öt kitüntetett csapadékmérőnek, továbbá Istvánnak, valamint a miniszteri oklevéllel kitüntetett Feilné Rácz Ilona szuperészlelőnek köszönetet mond a több évtizedes megfigyelő munkáért, amivel hozzájárultak a nemzeti éghajlati adatvagyon gyarapításához. További életükhöz, munkájukhoz kiváló egészséget, sok örömöt kívánunk!

KÖNYVAJÁNLÓ

Érdekes könyvek, időjárási vonatkozással

Lawrence M. Krauss: A klímaváltozás fizikája



„Nagyrészt a mi döntésünk függvénye, hogy a most előttünk álló lehetséges jövők közül melyiket fogják megélni gyerekeink és unokáink. Nyitott szemmel kell belépnünk ebbe a jövőbe." (L. M. Krauss)

Lawrence Maxwell Krauss kanadai-amerikai elméleti fizikus, kozmológus elkötelezett amellett, hogy a tudomány eredményeit a laikusok is megismerjék és megértsék. Tucatnyi ismeretterjesztő könyve mellett a YouTube-on tudományos kérdésekkel foglalkozó podcastjai is elérhetők. A magyarul is megjelent *A Star Trek fizikája* és a *Kvantumember – Richard Feynman tudományos munkássága* című kötete után az éghajlatváltozás fizikai hátterével foglalkozó *A klímaváltozás fizikája* című műve is eljutott a magyar olvasókhoz. Bár az éghajlati modellek rengeteg paramétert, folyamatot, kölcsönhatást és visszacsatolást magukban rejtő, bizonyos komplexitás felett már csak szuperszámítógépeken futtatható matematikai algoritmus-rendszerek, a napjainkban tapasztalható globális éghajlatváltozás mögött álló alapvető fizika meglehetősen egyszerű és mélyebb előképzettség nélküli érdeklődőkkel is megértethető. Mivel az éghajlatváltozásban mindenki érintett, a szerző megítélése szerint legalább alapfokon mindenkinek értenie is kellene a változások okait és az ember szerepét. A könyv megírásának apropóját a szerző vietnami utazása adta. A termékeny, de a – mai – tengerszint fölé alig emelkedő kiterjedt Mekong-torkolatvidék felkeresése. Ez a gyönyörű, Vietnam élelmiszertermelésben meghatározó szerepet játszó táj az éghajlatváltozás, a nyomában fellépő tengerszint-emelkedés következtében emberileg belátható időn belül drasztikus átalakuláson fog átesni. A könyv előszava szerint a kiadók piacképesebbnek gondoltak egy nagyrészt az érzelmekre ható éghajlatváltozásról szóló kötetet, a szerző azonban maradt a folyamatok objektív tárgyalásánál, beleértve az éghajlatváltozás fenyegető következményeinek bemutatását is.

Mérések bizonyítják a légkör szén-dioxid tartalmának változását (2. fejezet). A légkör összetételét a légkör-bioszféra-óceán rendszer kölcsönhatásai szabályozzák (3. fejezet), de ebben egy olyan hozamú új forrás jelent meg, az emberi tevékenység, amelyet a természeti folyamatok nem tudnak kiegyensúlyozni, és ez a légköri koncentráció növekedéséhez vezetett. Fourier megsejtette, követői pedig kimérték, hogy a vízgőz, a szén-dioxid és más gázok a felszín és a légkör hőmérsékleti sugárzását elnyelik és az így felvett energiát részben a felszín felé visszasugározzák, melegebben tartva a felszínt, mint amilyen az légkör nélkül lenne (4. fejezet). Az első klímamodellek (5. fejezet) kapcsán a szerző bevezeti az éghajlatváltozás kulcsfontosságú tényezőjét, a sugárzási kényszert (6. és 7. fejezet). Részletesen kitér arra a tévhitre, mely szerint a légkör már telített szén-dioxiddal, ezért a koncentráció további emelkedése már nem okoz érdemi éghajlatváltozást. A könyv második fele (8–12. fejezet) az éghajlatváltozás jövőbeli várható alakulásával és ennek következményeivel foglalkozik: a hőmérséklet- és csapadék-eloszlás változásaival, a jégmezők olvadásával, a tengerszint emelkedésével, az óceánok savasodásával, az éghajlatváltozás hosszú távú kifutásával, az átbillenési pontokkal. A könyvet információ-források terjedelmes listája egészíti ki, melyekből az érdeklődők további ismereteket meríthetnek.

Az éghajlatváltozás fizikájával foglalkozó légkörfizikusoknak, meteorológusoknak a könyv valószínűleg nem sok újdonságot mond, de nem is ők alkotják az elsődleges célközönséget. A könyv háttérinformációt ad az éghajlatváltozás következményeivel foglalkozó szakembereknek, döntéshozóknak, érthető tájékoztatást az éghajlatváltozás hatásait a saját bőrükön érzőknek és mindenkinek, aki a természettudományok iránt érdeklődik. Jól hasznosítható a különböző földtudományi és környezettudományi területek oktatásában is. Az eredeti amerikai kiadással összhangban a könyvbe sajnos csak fekete-fehér, illetve szürkeskálás ábrák kerültek. A szürkeskálás térképeken viszont azok sem könnyen igazodnak el, akik tudják, hogy azokon mit is kellene látniuk.

A 180 oldalas könyv Torma Péter fordításában, Vincze Miklós Pál szakmai lektorálásával a Typotext kiadó gondozásában jelent meg 2025-ben.



2026 tavaszának időjárása

Szolnoki-Tótiván Bernadett
HungaroMet Nonprofit Zrt., totivan.b@met.hu

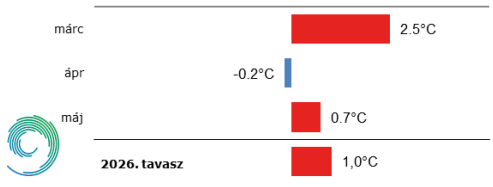
A 2026-os tavasz az átlagosnál melegebb, ugyanakkor rendkívül száraz időszakot hozott hazánkban. Az évszak középhőmérséklete 1 °C-kal haladta meg az 1991–2020-as átlagot, ezzel a kilencedik legmelegebb tavasz lett 1901 óta. A csapadékból viszont mindössze a sokéves mennyiség 57%-a hullott le, így 2026 tavasza a harmadik legszárazabbnak bizonyult a XX. század eleje óta.

A hőmérséklet és csapadék időbeli alakulása

A meleg telet követően 2026 tavasza is enyhébb volt a megszokottnál. Országos átlagban 12,1 °C lett az évszakos középhőmérséklet, mely 1,0 °C-kal haladta meg a sokéves átlagot (*1. ábra*). Ezzel a 9. helyre került az elmúlt 126 év éghajlati rangsorában, holtversenyben 2009 tavaszával. Az évszak első hónapja 2,5 °C-kal melegebben telt a megszokottnál, a május pedig 0,7 °C-kal. Eközben az április kis mértékben, 0,2 °C-kal maradt el a sokéves átlagtól.

A küszöbnapok alapján is a megszokottnál melegebben telt a tavasz (*1. táblázat*). A hőmérsékleti indexek közül a telet jellemzők (fagyos, hideg, téli nap) elmaradnak a megszokott értékektől, míg a nyári és hőség napok száma több, mint a sokéves átlag.

A csapadék időbeli eloszlása extrém módon egyenetlen volt 2026 tavaszán. Alapvetően a március szokta adni az évszak csapadékának a legkisebb részét (25%), viszont idén a nagyon száraz április átvette ezt a szerepet. Az áprilisban lehullott 4 mm az évszakos összeg 5%-át jelenti, a márciusi mennyiség pedig 28%-ot adott a háromhavi összeghez (*2. ábra*). A május hozzájárulása (67%) pedig közel másfélszerese a meg-

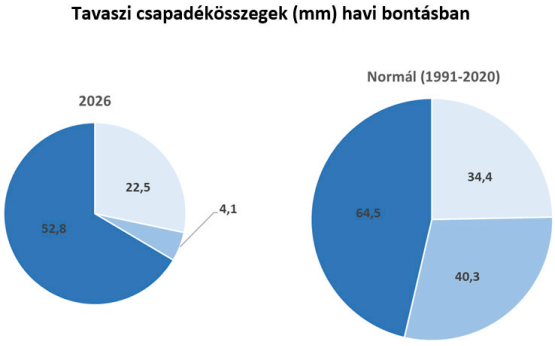


1. ábra. Az országos havi és az évszakos középhőmérséklet eltérése a sokévi (1991–2020-as) átlagtól 2026 tavaszán (interpolált adatok alapján).

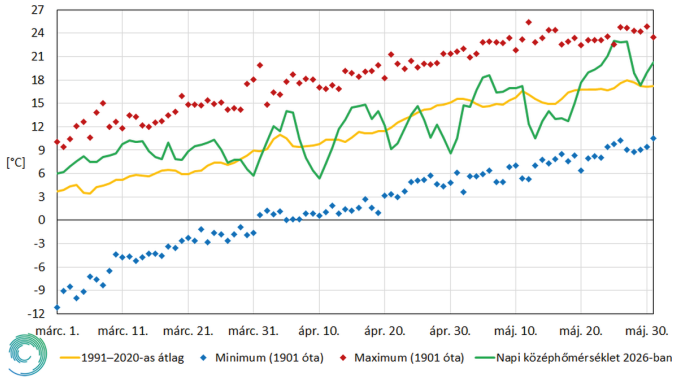
Éghajlati indexek értékei 2026 tavaszán és ezek sokéves átlagai

	2026	1991–2020
Fagyos nap (Tmin ≤ 0 °C)	13	15
Hideg nap (Tmin ≤ -5 °C)	0	3
Téli nap (Tmax ≤ 0 °C)	0	1
Nyári nap (Tmax ≥ 25 °C)	14	12
Hőség nap (Tmax ≥ 30 °C)	2	1
Csapadékos nap (r ≥ 0,1 mm)	17	30
Havas nap	0	3
Hótakarós nap	0	3

1. táblázat. A 2026-os tavasz során jegyzett különböző éghajlati indexek és ezek 1991–2020-as sokéves értékei.



2. ábra. A 2026-os tavasz havi csapadékösszegei és a normál területarányos kördiagramon (mértékegység: mm).



3. ábra. Országos napi középhőmérsékletek, a sokéves átlag (1991–2020), illetve a szélsőértékek 1901 óta 2026 tavaszán homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

szokottnak (46%). Az ábrán – ahol a kördiagramok területei arányosak a havi és évszakos csapadékösszegekkel – látható, hogy a 2026-os tavasz csapadékösszege jócskán elmarad a sokéves átlagtól, mindössze 57%-a érkezett a normálnak. A XX. század kezdete óta az idei április a 2., míg a teljes évszak a 3. legszárazabb lett az adott időszakok rangsorában. A március a 41., a május pedig 48. ugyanezen sorban.

A száraz tavasz az éghajlati indexekben is látható (*1. táblázat*), csapadékos napok száma jócskán elmarad a sokéves átlagtól. Havas és hótakarós napot pedig nem figyelhettünk meg az évszak során.

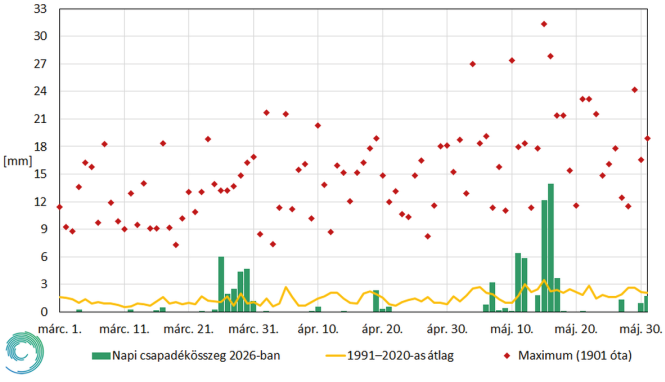
Hőmérsékleti viszonyok az évszak során

A *3. ábra* a 2026-os tavasz napi középhőmérsékleteit, az 1991–2020-as sokéves átlagokat, valamint az 1901 óta mért szélsőértékeket ábrázolja. Az évszak 92 napjának több, mint kétharmadán (65 napon) volt magasabb a napi középhőmérséklet a sokéves átlagnál. Márciusban a középhőmérséklet alakulásának íve nagyon hasonlított a sokéves átlag menetéhez, azzal a különbséggel, hogy 2-4 °C-kal felette futott. Mindössze a hónap utolsó napjaira süllyedt a hőmérséklet a megszokott érték közelébe, majd alá. Az április már sokkal változatosabban telt, a hőmérsékletet tekintve folyamatos hullámzás volt megfigyelhető. Pár napos hideg és meleg periódusok felváltva követték egymást. Májusban is folytatódott ez a ciklikusság, csak a hideg és meleg időszakok hosszabbak voltak.

Márciusban főként anticiklonális hatások érvényesültek, így derült, napos, tavaszias időben volt részünk. 26-án viszont egy ciklon érte el a Kárpát-medencét, melynek hatására erős kontraszt alakult ki az ország keleti és nyugati fele közt. A nyugati országrész volt hűvösebb: ott 10 °C alatt maradtak a maximumok, míg keleten 17-18 °C körül alakultak. A hónap utolsó 2 napjára északnyugat felől hidegebb levegő érkezett hazánk fölé. 30-án másfél, 31-én pedig 3 fokkal volt hűvösebb, mint a sokéves átlag.

Április első napjaiban átlagközeliek voltak a középhőmérsékletek, majd felmelegedés következett, ahogy egy ciklon melegszektora került a Kárpát-medence fölé. Ekkor napos, tavaszi időnk volt, 5-én és 6-án a napi maximumhőmérséklet országszerte 20 °C felett alakult. Az érkező hidegfront mögött 6-tól északiasra fordult a szél és egyre hidegebb levegő áramlott a Kárpát-medencébe. Ennek köszönhetően 8-12 között a sokéves érték alatti középhőmérsékleteket mértünk, 7-től kezdődően ismét megjelentek a hajnali fagyok. A hónap – és egyben az évszak – leghidegebb napja 10-e lett, amikor mindössze 5,4 °C volt az átlaghőmérséklet, ami több, mint 4 fokkal alacsonyabb az ilyenkor szokásosnál (9,8 °C). 12-től ciklonális áramlással melegebb levegő és szaharai por érkezett fölénk. A hónap legmelegebb napján (04.17.) 4 fok körüli pozitív eltérést tapasztaltunk a sokéves értéktől, ekkor országos átlagban 14,9 °C-ot mértünk. 19-én délután északnyugat felől egy hidegfront érte el hazánkat. A következő napokban a front mögött beáramló hűvös, száraz levegő alakította időjárásunkat, csökkent a középhőmérséklet és a csapadékhajlam is. 22-től melegebb levegő érkezett térségünkbe, nőttek a napi középhőmérsékletek, egészen 25-ig. 26-án észak felől egy hidegfront vonult át, mely lehűlést hozott, a szél helyenként viharossá fokozódott. A hónap végéig maradt a megszokottnál hidegebb időjárás, 30-án figyelhettük meg a normáltól való legnagyobb negatív eltérést. Ekkor 8,6 °C volt a napi középhőmérséklet, míg a sokéves átlag 15,1 °C.

Május elseje még április utolsó napjait idézte: az átlagosnál jóval hidegebb időben hazánk legnagyobb részén még fagyott hajnalban és a napi középhőmérséklet



4. ábra. Országos napi átlagos csapadékösszegek, a sokéves napi átlagok (1991–2020), illetve a maximumok 1901 óta 2026 tavaszán homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

is 5 fokkal elmaradt az ilyenkor megszokottól. 4-től már a sokéves átlag felett alakult a hőmérséklet, sok napsütésben volt részünk. 11-én egy hidegfront érkezett, a front mögött beáramló hideg légtömegek hatására lecsökkent a középhőmérséklet, 13-án mindössze 10,6 °C volt, mely 5 fokkal alacsonyabb, mint a normál. 18-tól erőteljes felmelegedés kezdődött, fátyol- és gomolyfelhők mellett sok napsütésben volt részünk. 25-27 között tetőzött a meleg május folyamán, a maximumhőmérséklet 30 °C felett alakult. Ezekben a napokban a napi középhőmérséklet 23 °C volt, mely 5-6 fokkal magasabb az ilyenkor szokásosnál. 27-én délután észak felől egy hidegfront vonult át, emiatt az északnyugati szél sokfelé megerősödött és zivatarok környezetében viharossá fokozódott. 28-tól ismét anticiklon alakította időjárásunkat, de az átvonult hidegfront mögött átmenetileg mérséklődött a nappali felmelegedés.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet			
	Hőmérséklet	*Állomás*	*Napja*
március	20,2 °C	Sellye	március 14.
április	26,0 °C	Letenye	április 25.
május	34,4 °C	Budapest Újpest	május 27.
A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet			
	Hőmérséklet	*Állomás*	*Napja*
március	-7,1 °C	Nyírtass	március 7.
április	-7,4 °C	Nyírtass	április 11.
május	-5,3 °C	Nyírtass	május 1.

2. táblázat. A tavaszi hónapok során mért legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékletek 2026-ban.

Csapadékviszonyok az évszak során

A március 16-i hidegfront hatására a Dunántúlon figyelhettünk meg esőt, záporesőt, 17-én pedig a Dunántúl mellett az Északi-középhegységben is esett. Az ezt követő napokban száraz, bár többször felhős volt az ég és helyenként a szél is megerősödött. 26-án ismét ciklon érkezett a Kárpát-medencébe, a csapadék eloszlása nagyon egyenetlenül alakult. A keleti vármegyék szárazon maradtak, a Dunántúlon viszont kiterjedt területen esett, helyenként intenzíven az eső, a középső tájakon pedig inkább a zápor volt jellemző. Emellett az északi szél a Nyugat-Dunántúlon viharossá fokozódott. Éjszaka a Bakonyban és az Alpokalján havazásba, havas esőbe váltott a csapadék, reggelre a Kőszegi- és Soproni-hegység magasabb részein 10-15 cm-es hótakaró alakult ki. A ciklon továbbra is felettünk maradt, így a hónap hátralévő napjain volt csapadékhullás. 27-én a Tiszától keletre fekvő tájak még mindig nem kaptak csapadékot, de 28-án már oda is megérkezett eső, záporeső formájában. 29-én és 30-án az északnyugati részek kivételével országszerte esett.

Áprilisban a csapadékra egészen 10-ig kellett várni, bár a mennyisége nem volt jelentős. Országos átlagban nem érte el az 1 mm-t, a legnagyobb összeget (5 mm) Söjtörön mértük. Az ország nagyobb része száraz maradt, mivel a Győr – Baja vonaltól nyugatra fekvő tájakon mindössze 14-én esett, ott néhol előfordult kisebb zápor, de a legnagyobb lehullott mennyiség is 3 mm alatt maradt. 19-én délután északnyugat felől egy hidegfront érte el hazánkat, hatására erőteljesen megnövekedett a felhőzet és a Dunántúl nyugati részén többfelé fordult elő eső, záporeső, helyenként zivatar. Az éjszaka folyamán a front átvonult az ország felett, így az Alföldön is volt csapadék. A szél a front mögött északnyugatira fordult és megerősödött, Győr térségében pedig viharossá fokozódott. Egyre kevesebb helyen volt eső, zápor. 21-én délelőtt még szórványosan előfordultak záporok, főként a Tatabánya-Szeged vonal szélesebb sávjában, valamint Somogy vármegye déli részén. Néhol a záporos gócokat aprószemű jég, dörgés, villámlás kísérte. Ezt követően a hónap hátralevő napjain már nem volt csapadék.

Májusban 6-án a Pécs-Szécsény sávban, 7-én pedig többfelé volt csapadékhullás, ekkor a nagyobb mennyiségeket az Alföldön regisztráltuk. 11-én egy hidegfront érkezett, melynek előterében záporok, zivatarok alakultak ki, majd a front átvonulását is többfelé eső, zápor kísérte. A csapadékhullás 12-én is folytatódott, bár ekkor már az ország északnyugati harmada száraz maradt. 14-től a Kárpát-medence időjárását a kontinenst

A hónap legnagyobb csapadékösszege			
	Csapadék	*Állomás*	
március	105,1 mm	Bakonybél	
április	28,3 mm	Pinkamindszent	
május	128,9 mm	Rábagyarmat	
A hónap legkisebb csapadékösszege			
	Csapadék	*Állomás*	
március	3,6 mm	Gárdony Agárd	
április	0,0 mm	Atkár Bajna Budapest Ferencváros Budapest János-hegy Budapest Kelenföld Budapest Kőbányai Vízmű Budapest Lágymányos Budapest Pesthidegkút Budapest Vizafogó Ecseg Encs Erdőtelek Felsőberecki Füzérkomlós Galgaguta Jászapáti Karcsa Kékestető Kisnána Kompolt Széchenyiutca Kompolt Kunmadaras Ludas Nagyecsed Nagyiván Parád Óhuta Püspökszilágy Sátoraljaújhely Baráttszer Szikszó Szuha Mátraalmás Tarnaméra Telkibánya Tiszadob Tiszaigar Tiszalök Vilyvitány Zsámbék	
május	16,6 mm	Debrecen Kismacs	
24 óra alatt lehullott maximális csapadék			
	Csapadék	*Állomás*	*Napja*
március	44,4 mm	Gyenesdiás	március 26.
április	14,8 mm	Szalafő	április 19.
május	81,2 mm	Bácsbokod	május 16.

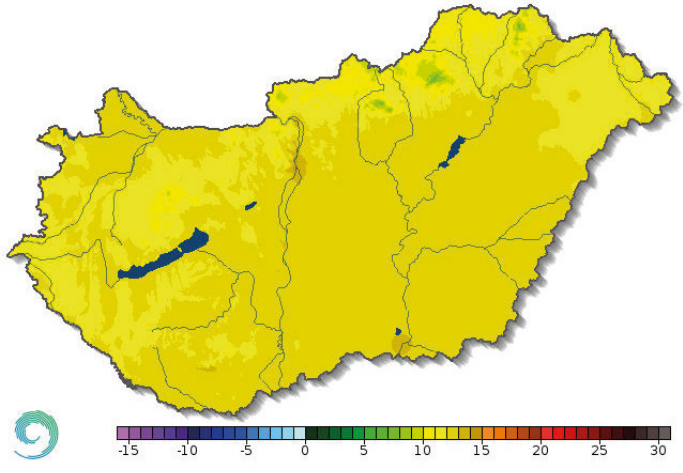
3. táblázat. A tavaszi hónapok során mért legnagyobb és legkisebb havi csapadékösszegek, valamint a 24 órás maximumok 2026-ban.

kettészelő, hosszan elnyúló frontrendszer alakította. Ennek a déli ágán kialakuló mediterrán ciklon hatása érvényesült 15-től. Felhős időben sokfelé alakult ki eső, zápor, helyenként zivatar. 15-én a jellemző csapadékösszeg 10-30 mm közt alakult, viszont a Tiszántúlon mindössze pár mm érkezett. 16-án is nagy területen volt kiadós, áztató eső, a Mecsek térségében, valamint Szeged és Kiszombor környezetében 35-60 mm hullott, Baján pedig 78 mm-t mértünk. A Berettyó-Körös-vidéken ekkor is csak 1-2 mm-t regisztráltunk. A következő napra már jelentősen gyengült a ciklon, de keleten (az előző napokban szárazon maradt tájakon) számos intenzív zivatar keletkezett, helyenként felhőszakadás is előfordult, Gyomaendrődön 53 mm esett. Ebben a 3 napban (15-17) a kialakult csapadékgócokat erős, helyenként viharos széllökések kísérték. 18-tól erőteljes felmelegedés kezdődött, zápor, zivatar már csak elvétve fordult elő. 27-én délután észak felől egy hidegfront vonult át, záporok, zivatarok pattantak ki, főként nyugaton és az északkeleti határ mentén. 30-án gyenge meleg-, majd hidegfront érintette térségünket; nyugaton, valamint az Eger-Debrecen sávban hullott csapadék. A hónap utolsó napján is a Nyugat-Dunántúlon figyelhettünk meg záporokat, zivatarokat, az északnyugati szél megélénkült, zivatarok környezetében erős lökések is előfordultak.

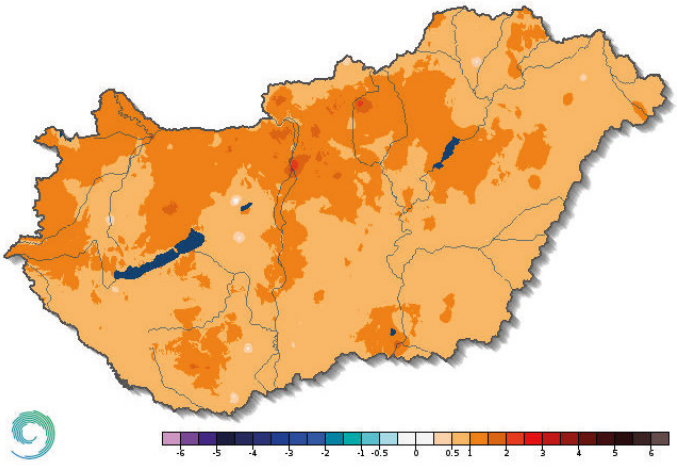
A hőmérséklet térbeli eloszlása

A tavasz középhőmérséklete 12,1 °C lett, mely magasabb, mint a sokéves érték (11,1 °C). Az Alföldön és a Kisalföldön 12 és 13 °C között mozgott az évszakos átlag, a Dunántúli- dombságon pedig 11 és 12 °C között. Ennél alacsonyabb háromhavi középhőmérséklet a középhegységeinket jellemezte, ezeken a tájakon 9-11 °C-ot mértünk. Kékestető állomásunkon regisztráltuk a legalacsonyabb átlagot tavasszal, csupán 7,4 °C-ot (*5. ábra*).

A *6. ábrán* szinte mindenhol pozitív anomáliát figyelhetünk meg, csak elszórtan találunk fehér foltokat, ahol a sokéves értéknek felel meg a tavasz

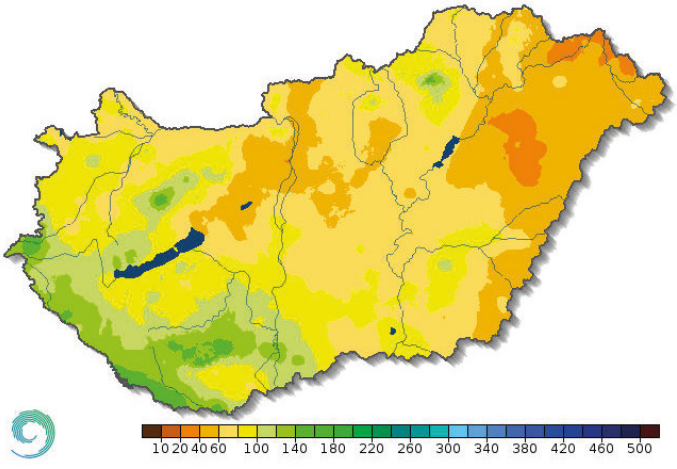


5. ábra. A 2026-os tavasz középhőmérséklete (°C).



6. ábra. A 2026-os tavasz középhőmérsékletének eltérése a sokévi (1991–2020) átlagtól.

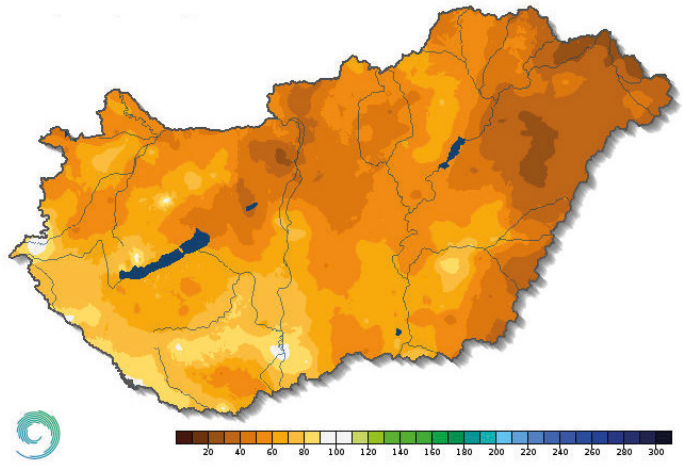
középhőmérséklete. A déli és az északkeleti országrészben az anomália 0,5-1 °C között alakult, míg északon, a Mecsekben és Szeged térségében 1,0-1,5 °C között. 1,5 °C feletti eltérés foltokban jelenik meg középhegységeinkben, 2,0 °C feletti pedig Budapesten és a Mátrában.



7. ábra. A 2026-os tavasz csapadékösszege (mm).

A csapadék térbeli eloszlása

A tavasszal lehullott csapadékösszegek térbeli eloszlását mutatja be a *7. ábra*. A háromhavi mennyiségekben délnyugatról északkelet felé haladva csökkenés látható. A nagyobb – 100 mm feletti – összegek főként a Dél-Dunántúlt jellemzik, de a Körös-Maros közén és középhegységeinkben is megjelenik egyes tájakon ez a mennyiség. A legnagyobb csapadékösszeget, 183,8 mm-t Bakonybélen regisztráltuk.



8. ábra. A 2026-os tavasz csapadékösszege a sokévi (1991–2020-as) átlag százalékos arányában kifejezve.

A legszárazabb tájaink a Felső- Tisza-vidék, valamint a Hajdúság voltak. Errefelé a három hónap alatt lehullott csapadék mennyisége 20-40 mm között alakult. Az évszak folyamán a legkevesebb csapadékot, 27,5 mm-t Debrecen Kismacs állomáson mértük.

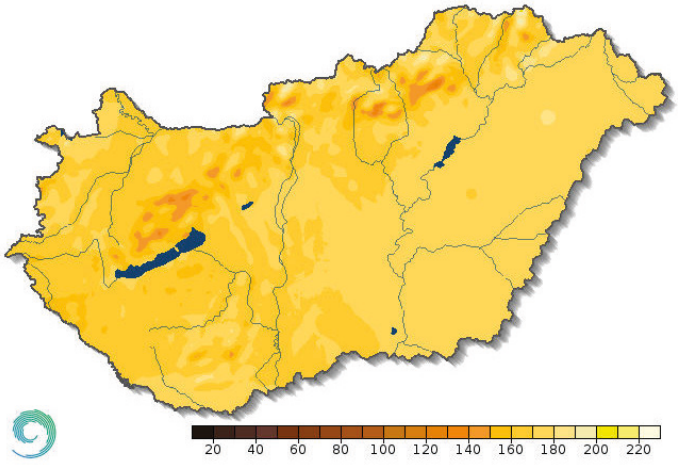
Országos átlagban 79,5 mm volt a tavaszi csapadékösszeg, ez 43%-kal elmarad az 1991-2020-as sokéves normáltól (139 mm). Mindössze 1-2 kisebb területet találunk (pl.: Baja és Szentgotthárd térsége), ahol a lehullott mennyiség eléri az átlagot (ld. fehér szín a *8. ábrán*). Hazánk túlnyomó részét viszont csapadékhiány jellemzi. A kisebb hiány a Dunántúlon látható, ahol a szokásos összeg 50-90%-a érkezett. Viszont a Felső- Tisza-vidéken, valamint a Hajdúságban a sokéves érték 20-30%-a hullott.

A globálsugárzás térbeli eloszlása

Tavasszal hazánk legnagyobb részén 160-180 kJ/cm^2 között alakult az évszakos globálsugárzás-összeg. Ennél alacsonyabb értékeket a középhegységeinkben figyelhettünk meg (*9. ábra*). A magasabb sugárzási értékek (170-180 kJ/cm^2) az Alföldet jellemezték, míg az alacsonyabbak (160-170 kJ/cm^2) a Dunántúlt. A legmagasabb mért összeg Újfehértón 186 kJ/cm^2, míg a legalacsonyabb mért érték Baja Csillagvizsgáló állomáson 159 kJ/cm^2 volt.

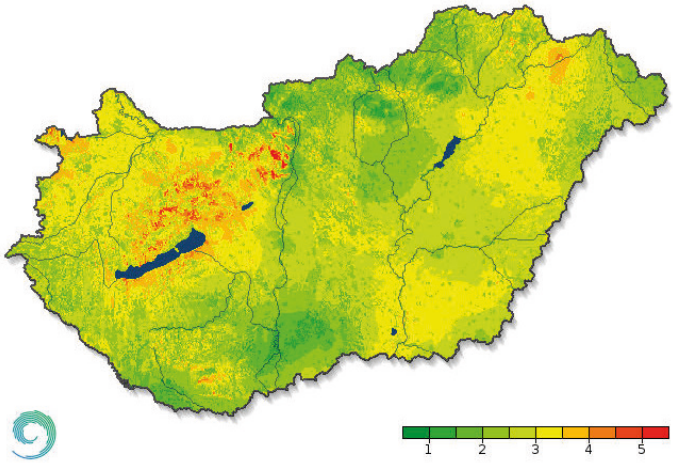
A szélsebesség térbeli eloszlása

Tavasszal hazánk legnagyobb részén 2 és 4 m/s között alakult az átlagos szélsebesség, ahogy ebben az évszakban ez megszokott. Az alacsonyabb szélsebességeket a Duna-Tisza-közének délnyugati részén és



9. ábra. A 2026-os tavasz globálsugárzás összege (kJ/cm²).

az Északi-középhegységben regisztráltuk (*10. ábra*). Magasabb átlagszél viszont kiterjedtebb területen jelentkezett, mint az elmúlt 2 évben. 3,5-4 m/s közötti érték figyelhető meg a Mecsekben, a Balaton térségében, a Felső-Tisza-vidéken, valamint Sopron és Kőszeg környezetében. Ennél magasabb szélátlagok (4-5 m/s) a Dunántúli-középhegységben fordultak elő. A térképen csak az átlagszelet ábrázoltuk, emellett viszont fontos megemlítenünk a széllökések nagyságát is. Legtöbbször hidegfrontok átvonulásához kapcsolódnak a viharos (15 m/s feletti) széllökések. Az évszak folyamán 3 napon is megdőlt a fővárosi napi legmagasabb széllökés rekordja, egy alkalommal pedig a napi legmagasabb széllökés országos rekordja. Március 29-én Balatonőszödön mértünk 33,1 m/s-ot, mely egy 2012-ben mért Kab-hegyi rekordot múlt felül. A fővárosban április 20-án és 26-án, valamint május 13-án Budapest János-hegy állomáson születettek új széllökés rekordok.



10. ábra. A 2026-os tavasz átlagos szélsebessége 10 m-es magasságban (m/s).

2026. tavasz időjárási adatainak összesítője
(a mért értékek és az eltérések az 1991–2020-as sokéves átlagtól)

Állomás	Sugárzás, kJ/cm²	Hőmérséklet, °C						Csapadék, mm			Szél
	évszakos összeg	évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	r ≥ 1 mm napok	viharos nap (f ≥ 15 m/s)
Szombathely	173	12,0	1,2	31,4	2026.05.27	-1,8	2026.03.20	82	62	10	17
Nagykanizsa	161	11,5	0,7	31,1	2026.05.27	-2,8	2026.03.08	129	83	13	11
Pér		11,8		31,8	2026.05.27	-4,4	2026.04.10	61	45	11	17
Siófok	167	13,0	1,2	29,8	2026.05.27	0,6	2026.03.08	83	67	11	21
Pécs		12,9	1,2	30,4	2026.05.27	-0,1	2026.03.01	84	53	12	14
Budapest	174	13,2	1,3	32,3	2026.05.27	0,1	2026.03.01	55	42	10	2
Miskolc	159	12,2	1,2	32,5	2026.05.27	-1,8	2026.03.01	84	58	14	1
Kékestető	167	7,4	1,4	23,9	2026.05.27	-4,6	2026.04.10	69	35	13	23
Szolnok	177	12,7	1,0	32,6	2026.05.27	-2,3	2026.03.01	68	57	10	6
Szeged	172	12,8	1,1	33,0	2026.05.27	-1,3	2026.03.07	91	71	10	9
Nyíregyháza	175	12,8	1,6	32,3	2026.05.27	-1,6	2026.03.07	44	35	8	18
Debrecen	173	12,5	1,1	32,4	2026.05.27	-3,4	2026.04.11	29	22	7	10
Békéscsaba	177	12,4	0,8	32,3	2026.05.27	-2,7	2026.04.11	56	41	9	8



A 2026-os tavasz időjárása agrometeorológiai szempontból

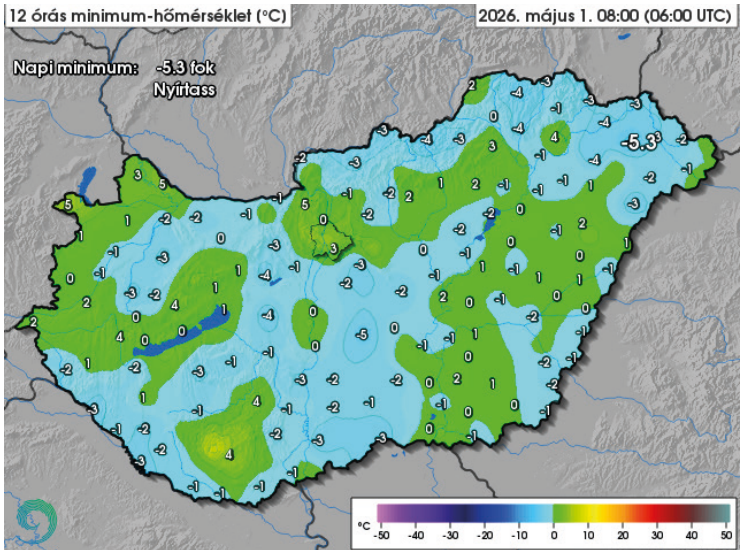
Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor
HungaroMet Nonprofit Zrt., molnar.zs@met.hu

Az idei tavasz mezőgazdasági szempontból elég kedvezőtlen időjárást hozott. A sokáig elhúzódó tavaszi fagyok mellett súlyos aszály is sújtotta az ágazatot.

A 2025/26-os tél hazánk nagy részén az átlagosnál szárazabb volt, és az Alföldön valamint a Mezőföldön nem töltődtek fel a talajok mélyebb rétegei nedvességgel. A tél végén nagy területen hiányzott 30-70 mm nedvesség a felső egy méteres talajrétegből a telítettséghez képest.

A vegetációs időszak jobbára napos, száraz, az ilyenkor szokásosnál több fokkal melegebb idővel kezdődött. A talajok felszínközeli része nagyon kiszáradt, és a középső talajréteg vízvesztése is egyre jelentősebbé vált. Az őszi vetések a szokásosnál hamarabb indultak fejlődésnek, és a középső országrészben már ekkor aszály volt kialakulóban. A rendkívül száraz levegő nagy napi hőingásokat eredményezett. Márciusban napközben többször is 15-20 fok közé melegedett a levegő, éjszakánként azonban rendszeresek voltak a gyenge fagyok. A kajszi azonban ezzel együtt is egyre többfelé kezdett virágozni március közepétől, és a többi gyümölcsfa rügyei is megpattantak. A hónap utolsó hetében fordult csapadékosra az időjárás, amikor négy hét szárazság után több hullámban, 10-50 mm közötti mennyiség esett. Az őszi vetésű növényeknek és a tavaszi vetés előkészítő munkáihoz nagyon jókor érkezett csapadék, a virágzó gyümölcsfáknál azonban a monília veszélyét növelte. Az átlagosnál melegebb kora tavaszi időjárás miatt már március végén elérte a talajhőmérséklet a 10 fokos küszöbértéket. A talajok alaposan átnedvesedtek a március végi esőzések során, ezért a vetést kezdetben a sár hátráltatta.

Április első napjaitól azonban hamar szikkadni, száradni kezdett a felszín, így időben el lehetett kezdeni a vetést. Áprilisban nagyon kevés csapadék érkezett, a felső talajréteg is egyre szárazabbá, porosabbá vált. Már a vegetációs időszak kezdetén nagyfokú vagy súlyos aszály sújtotta az állományokat. A vetés helyenként még a hónap végére sem kelt ki, míg máshol egyenetlenül, gyengén kelt állományok voltak megfigyelhetők. A szárazság mellett az éjszakai fagyok is megviselték a gyenge növényeket. Április második hetében egyre hűvösebb levegő érkezett fölénk, rendszeressé váltak az éjszakai fagyok, melyek többször az egész országra kiterjedtek, és helyenként -5 foknál is erősebbek voltak. A korai csonthéjasoknál már a terméskezdeményekben keletkeztek fagykárok, míg a legtöbb gyümölcsfajtát a teljes virágzás fázisában érte a fagy. A fagy károsító hatását csak fokozta a rendkívül száraz levegő. A hónap közepén átmenetileg elmúlt a fagyveszély, de számottevő csapadék továbbra sem érkezett. A mélyebb gyökérzettel rendelkező őszi vetések eleinte még találtak nedvességet a talajban, a szokásosnál előrébb jártak a fejlődésben,

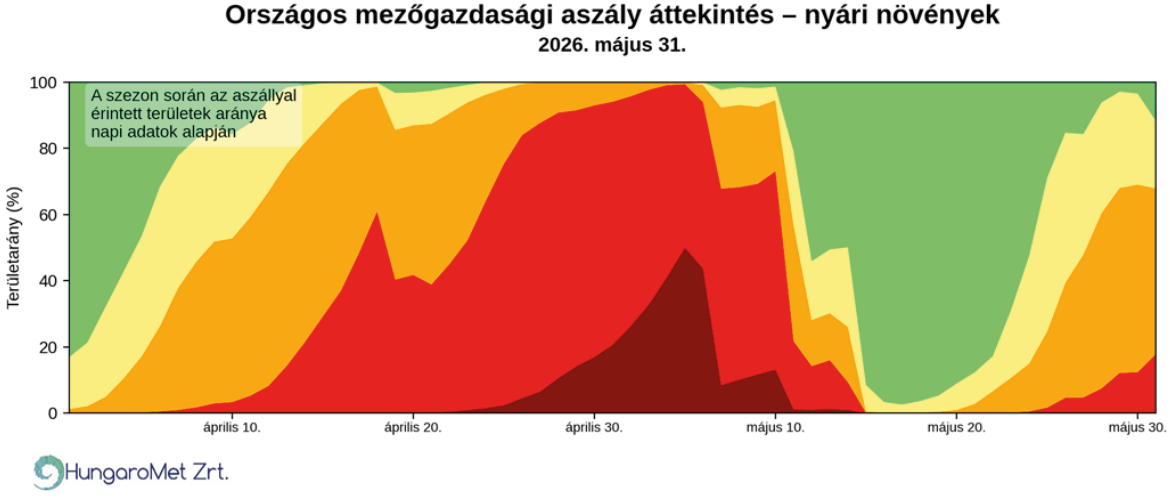


1. ábra. Minimumhőmérsékletek 2026. május 1-én (Celsius fok).

április második felében azonban a repcére és az őszi kalászosokra vonatkozó aszály is egyre kiterjedtebbé vált. A zöldtömegük növekedése idő előtt megállt, illetve csökkeni kezdett. A virágzáskor szinte egyáltalán nem kapott csapadékot a repce, és a kalászosok szemnövekedésekor is alig esett. A hónap utolsó dekádjában északias áramlással nagyon száraz, hideg légtömegek áramlottak fölénk, napközben többször a 30%-ot sem érte el a levegő relatív páratartalma, és visszatértek az éjszakai fagyok is. Május 1-én hajnalban ismét nagy területen hűlt 0 és -5 fok közé a levegő (*1. ábra*), ami komoly károkat okozott a mezőgazdaságban, majd néhány nap múlva a 30 °C-t is meghaladta a hőmérséklet.

Május első hete napos, száraz időt hozott, ekkor tetőzött a tavaszi aszály, ami hazánk túlnyomó részén nagyfokú vagy súlyos fokozatot ért el (*2. ábra*). A következő héten végre délnyugatira fordult az áramlás fölöttünk, és megérkezett az aranyat érő májusi eső. Többször, többfelé öntözte számottevő csapadék a földeket, a felső 30 cm-es talajréteg a Tiszántúl északi felének kivételével csaknem mindenhol telített állapotba került, fél méternél mélyebbre azonban csak délnyugaton és a felhőszakadások által érintett foltokban jutott a nedvességből. A mezőgazdasági aszály megszűnt, és a vízhiány is jelentősen mérséklődött, de a felső egy méteres talajrétegből főként az Alföldön még mindig sokfelé hiányzott 50-90 mm nedvesség a telítettséghez képest. A felhős, csapadékos napokon a hőmérséklet a sokéves átlag alatt alakult, ami visszavetette a vegetáció gyors fejlődését, az ezt követő melegebb időszakban azonban bőséges talajnedvesség mellett felgyorsult a növekedés, ami nemcsak a kultúrnövényeket, hanem a gyomokat is érintette. A májusi eső nagyon jól jött, de távolról sem volt elég, a hónap utolsó dekádja ismét csapadékszegény időjárást hozott, és fokozatosan nőni kezdett az aszállyal érintett terület nagysága.

Összességében, ahogy az idei tél is, a tavasz is szárazabb, és kissé enyhébb volt a sokéves átlagnál. Az ország déli felén 20-60, míg keleti és északi tájain 50-100 mm-rel hullott kevesebb csapadék a szokásosnál. Napfényben bőven volt részünk, 110-170 órával sütött többet a nap a sokéves átlagnál.



2. ábra. A nyári növényekre vonatkozó mezőgazdasági aszályszint szezonális áttekintése 2026. május 31-én.

Hírek

Érdekességek a meteorológia világából, jeles napok, megemlékezések belföldről és külföldről

Szigorúbb levegőminőségi előírásokat hoz az új uniós irányelv



2026.05.28. ■ Szigorúbb határértékeket, a mérőhálózat bővítését és a problémás helyzetek kezelésére szolgáló cselekvési tervek kidolgozását írja elő az Európai Unió új levegőminőségi irányelve. A szabályozás részleteiről a Magyar Meteorológiai Társaság (MMT) Levegőkörnyezeti Szakosztálya 2026. május 28-án tartott előadóülést „Amit mindig is tudni akartál a levegőminőség szabályozásáról" címmel.
Az Európai Unió új levegőminőségi irányelve jelentős szigorításokat vezet be: többek között alacsonyabb szennyezettségi határértékeket határoz meg, előírja a mérőhálózat fejlesztését és kiterjesztését, valamint kötelezővé teszi olyan cselekvési tervek kidolgozását, amelyek a levegőminőségi problémák esetén gyors és hatékony beavatkozást tesznek lehetővé.
A HungaroMet székházában megrendezett előadóülésen az MMT tagjai, a kapcsolódó tudományterületek képviselői, valamint a sajtó munkatársai is jelen voltak, így széles körű szakmai érdeklődés kísérte az eseményt.
A program során a HungaroMet Nonprofit Zrt. Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központjának szakértői és a LIFE IP HungAIRy projektvezetője tartottak előadásokat, melyek a levegőminőség-védelem aktuális kérdéseit, az új szabályozási környezetet, a mérési és modellezési szakterületek előtt álló kihívásokat, a kibocsátási leltárak hátterét, valamint a HungAIRy projekt keretében megvalósult eredményeket mutatták be.

Az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium zárórendezvényén bemutatták a legújabb fejlesztéseket és az elért eredményeket

2026. 05.19. ■ Az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium (RRF-2.3.1-21-2022-00014) támogatásával a HungaroMet bővítette például a meteorológiai méréseken alapuló adatbázisát; frissítette a 21. században várható hazai klímaváltozásra vonatkozó projekcióit; kiemelt figyelmet fordított a klímaváltozás és városi és levegőminőségi hatásainak leírására; s az információkat strukturáltan, ágazati igényekre szabva elérhetővé tette új éghajlati portálján. A portál nyilvánosan június 3. óta érhető el. A felület egy helyen teszi hozzáférhetővé az intézmény éghajlatváltozással kapcsolatos tudását, adatait, szolgáltatásait és fejlesztéseit.
A HungaroMet az Éghajlatváltozási Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium keretében az elmúlt években számos fejlesztést valósított meg az éghajlatkutatás, az adatszolgáltatás és az alkalmazkodást támogató szolgáltatások területén. A felhalmozott szakmai tudás, adatvagyon és információk átláthatóbb bemutatását szolgálja az új éghajlati portál, amely mindenki számára elérhetővé vált.
A portál fejlesztése során a szakemberek 200 év mérési és modellezési adataira támaszkodtak, amelyek segítségével a felhasználók részletes képet kaphatnak a magyarországi éghajlati folyamatokról és várható tendenciákról.
A felületen éghajlati és alkalmazkodási adatbázisok is helyet kaptak: az oldalon egy helyen érhető el többek között a Meteorológiai Adattár, a Klimadat és a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer, illetve a rendszeres éghajlati visszatekintők. Újdonság az oldalon Magyarország digitális éghajlati atlasza számos meteorológiai elemre és klímaindikátorra vonatkozó információval.
Az egyedi szolgáltatásokat bemutató oldalon az érdeklődők ágazatok szerint válogatott éghaj-

lati információkhoz juthatnak hozzá, többek között a mezőgazdaság, a turizmus, a vízgazdálkodás vagy a mérnöki tervezés területén. Az oldalon lehetőség nyílik egyedi igények és ajánlatkérések benyújtására is. Az új portálon emellett a HungaroMet kapcsolódó rendezvényeiről szóló információk, klímaváltozás témájú hírek, tanulmányok, kiadványok és videós tartalmak is elérhetők. A felület (https://eghajlat.met.hu) célja, hogy a klímaváltozással kapcsolatos tudományos eredmények és adatok minél szélesebb körben hasznosulhassanak, támogatva a döntéshozókat, a gazdasági szereplőket és a lakosságot az alkalmazkodási feladatokban.

Idén június 20-án tartották a Múzeumok Éjszakáját

2026.06.20. ■ A Múzeumok Éjszakáján: minden eddiginél nagyobb számú – több mint 1000 – látogató érkezett a HungaroMet Nonprofit Zrt. két telephelyére, a Kitaibel Pál utcai székházába és a pestszentlőrinci Marczell György Főobszervatóriumba. Az „Esőcseppekbe zárt történetek" programok a meteorológiára, a klímakutatásra és a környezetvédelemre helyezték a hangsúlyt. A HungaroMet Kitaibel Pál utcai székházában szombaton 15–24 óra között a díszterem standjainál nagy volt az érdeklődés a repülésmeteorológia, a veszélyjelzés, a klimatológia és klímamodellezés, illetve az időjárási modellezés iránt is. A látogatók elmélyülhettek a környezetvédelmi témákban is, számos játék és fejtörő segítségével tanulhattak a komposztálásról, a zajtérképekről, a levegőtisztaság-védelemről (LIFE IP HungAIRy projekt), az ökocímkés termékekről és az emissziós leltár (káros anyagok kibocsátása) szerepéről. A Nemzeti Alkalmazkodási Központ munkatársainál klímabarát várost lehetett tervezni.

A gyerekek számára különösen népszerű volt a „Meteomóka" program, amely során látványos, kísérletekkel színesített, interaktív előadáson vehettek részt és megismerhették az őket körülvevő környezet működését.

A délutáni szakmai előadások az „Esőcseppekbe zárt történetek" témakörhöz kapcsolódva a meteorológia és a klímakutatás számos izgalmas területét mutatták be. A szakemberek többek között a történeti meteorológiai mérések és időjárási feljegyzések feldolgozásáról, az időjárás-előrejelzés tudományos hátteréről, a légkör összetételének múltbeli és jelenlegi változásairól, az üvegházhatásról, valamint a beltéri és kültéri levegőminőség kérdéseiről tartottak előadásokat. A programok arra is ráirányították a figyelmet, hogy egy-egy esőcsepp mögött milyen összetett természeti folyamatok, mérési rendszerek és tudományos kutatások állnak.

A pestszentlőrinci Marczell György Főobszervatóriumban az érdeklődők a megújult Ambrózy Pál Meteorológiai Tanösvényen ismerkedhettek meg a hagyományos és modern meteorológiai mérőeszközökkel, betekinthettek a kalibráló laboratórium munkájába, valamint testközelből láthatták a radaros, villámdetektáló és sugárzásmérő rendszereket.

A nap egyik legnépszerűbb programeleme ezúttal is a rádiószonda-felengedés volt. Emellett nagy érdeklődés kísérte a levegőminőség-mérés folyamatát bemutató állomásokat is.



Hírek

Érdekességek a meteorológia világából, jeles napok, megemlékezések belföldről és külföldről

A Művészetek Völgye idén sem maradt HungaroMet nélkül, a Zöld Udvarban találkozhattak velünk



2026.07.24–08.02.

A 2026-os Művészetek Völgye a fesztivál 35. jubileumi kiadása volt, amelyet 2026. július 24. és augusztus 2. között rendeztek meg a Balaton-felvidéki Kapolcson, Taliándörögdön és Vigántpetenden. A tíznapos rendezvény Magyarország legnagyobb összművészeti fesztiválja, ahol a zene mellett színházi, irodalmi, képzőművészeti, cirkuszi és táncprogramok, valamint számos közösségi esemény várta a látogatókat. A szervezők beszámolója szerint a rendezvény mintegy 140 ezer látogatót vonzott, 40 helyszínen több mint 4300 programmal.

A jubileumi év különlegessége volt több új helyszín és exkluzív produkció bemutatása, valamint a fényfestés hangsúlyos megjelenése. A könnyűzenei programban olyan népszerű előadók szerepeltek, mint José González, a Kispál és a Borz, a Quimby, a Carson Coma, Beton.Hofi, Dzsúdló, a Bagossy Brothers Company, a Parno Graszt és az Analog Balaton.

A fesztivál egyik legnagyobb jubileumi attrakciója a Völgy Szimfonik 35 című produkció volt, amelyben ismert hazai könnyűzenei előadók a Danubia Zenekarral közösen, szimfonikus hangszerelésben léptek színpadra.

A 2026-os Művészetek Völgye programjai között kiemelt szerepet kaptak a fenntarthatósági és környezettudatos kezdeményezések. A fesztivál hivatalos kommunikációja a „Zöld Völgy" koncepciót hangsúlyozta, amelyhez zöld programok, szelektív hulladékgyűjtés és a települések között közlekedő völgyjáró buszok kapcsolódtak.

A Zöld Udvar a fenntartható életmód, a környezetvédelem és a közösségi gondolkodás témáit állította középpontba. A látogatók beszélgetéseken, interaktív foglalkozásokon és szemléletformáló programokon keresztül ismerkedhettek meg a környezettudatos mindennapok lehetőségeivel, illeszkedve a fesztivál „Zöld Völgy" szemléletéhez.

A HungaroMet a következő szervezetekkel együtt fogadta a Zöld Udvarba érkező látogatókat: a Sóstó Természetvédelmi Terület csapata, a Jane Goodall Intézet, a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság, a Magyar Környezeti Nevelési Egyesület (MKNE), a Zöld Zugoly, a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, a WWF Magyarország, a Bábozd Zöldre Egyesület, a Károli Gáspár Református Egyetem Pedagógiai Kara, a Magyarországi Református Egyház Teremtésvédelmi Munkacsoportja, a Magyarhoni Földtani Társulat, valamint a BM OKF Országos Tűzmegelőzési Bizottsága.

A HungaroMet részéről az első hétvégén a Klimatológiai és Kutatás-fejlesztési Igazgatóság, valamint a Stratégiai Igazgatóság, a második hétvégén pedig a Környezetvédelmi Igazgatóság munkatársai fogadták a látogatókat. A vendégek nyitottak voltak, és sokan megosztották saját tapasztalataikat az időjárás-előrejelzésekkel és a klímaváltozással kapcsolatban. A felnőttek és a gyerekek játékos formában ismerkedtek meg a meteorológia alapjaival, és interaktív feladatokon keresztül mélyítették el ismereteiket.

A Nemzeti Alkalmazkodási Központ szemszögéből nézve a rendezvényen többen érdeklődtek az osztály munkája iránt, és bár sokan ekkor hallottak először a szervezetről, pozitívan fogadták, hogy Magyarországon létezik kifejezetten klímaalkalmazkodással foglalkozó intézmény. A NATéR (https://nater.met.hu/) iránt is jelentős érdeklődés mutatkozott. Bemutattuk a DIMOP_PLUSZ-2.3.1-23-2023-00001 projektet és a folyamatosan bővülő mérőhálózatot, amelyet szintén nagy érdeklődéssel fogadtak a látogatók.

Lehetőség nyílt a HungaroMet közösségimédia-felületeinek népszerűsítésére is, külön kiemelve a stúdióban készült felvételeket.

Általános tapasztalatként elmondható, hogy a látogatók nyitottak voltak a tanulásra, élvezték a játékos programokat, és a megszerzett ismeretek hosszabb távon is hasznos tudássá válhattak számukra.

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Beszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság 2026. április – július közötti időszakáról

Zaveczki-Hoffmann Lilla és Lakatos Mónika

Az alábbi előadóüléseket szervezték szakosztályaink

A **Levegőkörnyezeti Szakosztály** 2026. május 28-án tartotta előadóülését *„Amit mindig is tudni akartál a levegőminőség szabályozásáról."* címmel. Az ülésen az alábbi előadások hangzottak el:

- dr. Varga Judit (HungaroMet Nonprofit Zrt.): Mi fán terem a(z új) levegőminőségi irányelv
- Dézsi Viktor (HungaroMet Nonprofit Zrt.): Új kihívások a levegőminőség-mérésében
- dr. Ferenczi Zita (HungaroMet Nonprofit Zrt.): Modellezünk, modellezünk, de mire is jó ez?
- Kis-Kovács Gábor (HungaroMet Nonprofit Zrt.): Mi füstöl? Mennyit füstöl?
- Bezegh Barbara (HungaroMet Nonprofit Zrt.): A tervezéstől a megvalósításig HungAIRy LIFE IP

A Társaság **Róna Zsigmond Ifjúsági Köre** előadóülést szervezett 2026. június 4-én, melynek témája a *„Modern meteorológiai fejlesztések – AI a gyakorlatban"* volt. Az ülés programja:

- Varga-Balogh Adrienn (HungaroMet Nonprofit Zrt.): Az AI alapjai és alkalmazásai a meteorológiában
- Oláh Soma (HungaroMet Nonprofit Zrt.; a 2026-os Róna Zsigmond Alapítvány díjazottja): Gépi tanulás alapú globálsugárzás nowcasting rendszer fejlesztése a HungaroMet Zrt-nél

Tisztújító Közgyűlés

Idén májusban megtartottuk a Magyar Meteorológiai Társaság Tisztújító Közgyűlését, amelyen megválasztottuk a Társaság vezetőségét a 2026–2030 közötti időszakra:

- Tiszteletbeli elnök: **Dr. Major György**
- Elnök: **Dr. Lakatos Mónika**
- Főtitkár: **Dr. Breuer Hajnalka**
- Tudományos titkár: **Kocsis Zsófia**
- Kommunikációs titkár: **Hoffmann Lilla**
- Ügyvezető titkár: **Dr. Dezső Zsuzsanna**
- Választmányi tagok: **Dr. Allaga-Zsebeházi Gabriella, Kolláthné Tóth Helga, Kovács Tamás, Dr. Mészáros Róbert, Dr. Haszpra László, Dr. Pongrácz Rita**
- Választmányi póttagok: **Kurunczi Rita, Labancz Krisztina**

A tisztségviselők teljes névsora elérhető a Társaság honlapján.

A közgyűlésen átadtuk a Társaság elismeréseit is. Az idei díjazottak:

- Steiner Lajos Emlékérem: **Tóth Róbert**
- Hegyfoky Kabos Emlékérem: **Weidinger Tamás**
- Berényi Dénes Emlékdíj: **Tölgyesi László**
- Szakirodalmi Nívódíj: **Mészáros Ernő** – Miért van élet a Földön?
- Götz Gusztáv publikációs díj: **Bokros Kinga, Ilyés-Vincze Csilla, Simon Csilla**
- Ifjú Fejlesztő Meteorológus Díj: **Mikes Márk Zoltán**
- Róna Zsigmond Alapítvány díja: **Oláh Soma**
- Hille Alfréd Ifjúsági Pályadíj: **Csontos András** (alapszak), **Fritz Petra** (mesterszak)

Gratulálunk valamennyi díjazottnak és sok sikert kívánunk a megválasztott vezetőségnek!

A **Társaság YouTube-csatornáján** a legutóbbi előadóülések felvételei elérhetők, így az előadások utólag is megtekinthetők. A videók lehetőséget biztosítanak arra, hogy az érdeklődők megismerjék a legfrissebb szakmai előadásokat és kutatási eredményeket, illetve azok számára is hozzáférhetővé teszik a tartalmat, akik személyesen nem tudtak részt venni az eseményeken.

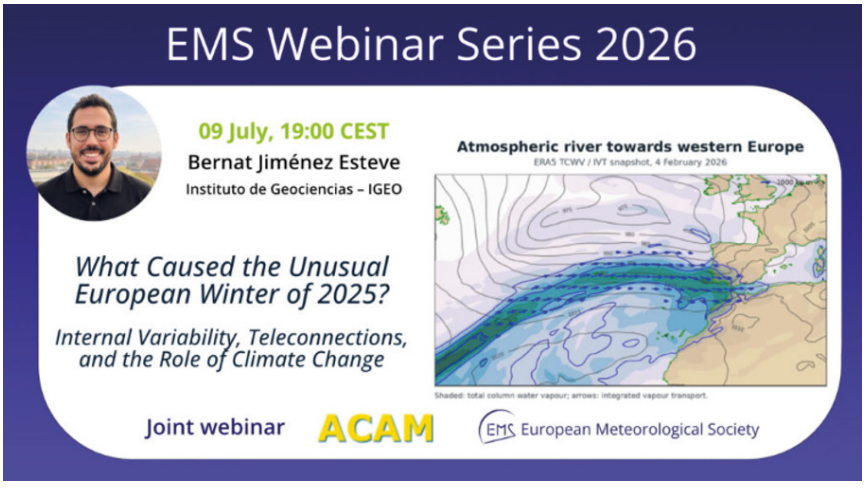
A Levegőkörnyezeti Szakosztály 2026. május 28-i előadóülésén elhangzott előadásai visszanézhetők az alábbi linken: https://www.youtube.com/watch?v=ONSMeRSs7og&t=2s

Az **EMS Webinar Series** ötlete a 2023-as EMS Közgyűlésen merült fel, azzal a céllal, hogy az éves konferenciák között is rendszeres szakmai kapcsolatot biztosítson az EMS tagszervezetei és a meteorológiai közösség számára. Az első webinárium-sorozat **2024 tavaszán** indult el öt előadással, és sikerét követően a program 2025-ben és 2026-ban is folytatódott. A sorozat a meteorológia és a kapcsolódó tudományterületek aktuális kutatási eredményeit, módszertani újdonságait és gyakorlati alkalmazásait mutatja be szakértők közreműködésével.

Az előadássorozatok felvételei online visszanézhetők, így bármikor elérhetők az érdeklődők számára. https://www.emetsoc.org/events/ems-webinars-series/

Az eddigi EMS Webinar Series előadásai

Év	Előadó(k)	Előadás címe
2024	Bert Holtslag	Understanding the Atmosphere of Starry Night
	Irina Sandu	How the Quiet, Digital and Data-Driven Revolutions are Shaping the Future of NWP
	Árpád Kis & Hanneke Luijting	The Geomagnetic Storm: Beauty and the Beast
	Ricardo García Herrera	Seamen Records of Past Climate
	Paco Doblas-Reyes	The Operationalisation of Climate Projections
2025	Marko Vučetić & Višnjica Vučetić	Croatian Meteorology in Philately
	Gerard van der Schrier	Citizen Science – Blending NMS Observations with Crowd-sourced Observations
	Panel discussion	Academic Careers Throughout Europe
	Panel discussion	How Do I Prepare for the EMS Annual Meeting Conference?
	Brigitte Perrin & Saeid Vaghefi	askWMO: AI Can Help Make Weather, Climate and Water Information More Accessible
	Friederike Otto & Ben Clarke	Rapidly Attributing Extreme Weather Events to Climate Change
	Liz Bentley	EMS's Journey to Net Zero
	José Luis Sánchez Gómez	Aerial Research Platforms: what processes can be seen inside clouds?
	Liz Bentley, Tanja Cegnar, Arne Spekat, Dominique Marbouty	Round table on 25 years EMS
2026	Bernat Jiménez Esteve	What Caused the Unusual European Winter of 2025? Internal Variability, Teleconnections, and the Role of Climate Change (1. kép)
	Julia Thomas (moderator), Filip Bukowski, Bianca Mezzina, Carlos Román Cascón	Your Secret Advice for the EMS Annual Meeting
	Gonéri Le Cozannet	Adaptation to Sea-Level Rise: Toward Transformations?
	Rasmus Benestad	Distilling Reliable, Robust, and Relevant Information from Global Climate Models for Climate Adaptation



1. kép. Bernat Jiménez Esteve előadása az EMS Webináron 2026. július 9-én.



Légzuhatag érkezik Óbudára
Fekete Katalin, FB FelhőNézők, Budapest



Altocumulus asperitas
Balázs Jácint, FB FelhőNézők, Szigetszentmiklós

Széchenyi Terv Plusz
Építsük együtt Magyarországot!

Magyarország Kormánya

Az Európai Unió finanszírozásával
NextGeneration EU



MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
MMT
ALAPÍTVA 1925

Magyar Meteorológiai Társaság

A Társaság várja tagjai közé mindazokat, akik érdeklődnek a meteorológia iránt, részt kívánnak venni a Társaság rendezvényein, szívesen bekapcsolódnának tevékenységébe.

www.mettars.hu



Minden információ egy helyen az időjárásról és a meteorológiáról

HUNGAROMET NONPROFIT ZRT.